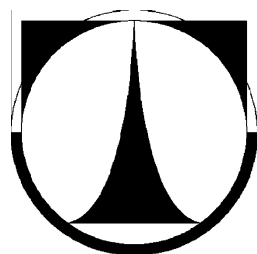


# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Liberec 2013

Bc. Tomáš Chára

---

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Studijní program: N2612 – Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 1802T007 – Informační technologie

## **Emulátor CAN komunikace pomocí aplikace CANoe**

### **CAN bus emulator via application CANoe**

#### **Diplomová práce**

Autor:

**Bc. Tomáš Chára**

Vedoucí práce:

Ing. Josef Grosman

Konzultant:

Ing. Michal Vojtěchovský

**V Liberci 16.5.2013**

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš Chára**  
Osobní číslo: **M10000226**  
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Informační technologie**  
Název tématu: **Emulátor CAN komunikace pomocí aplikace CANoe**  
Zadávací katedra: **Ústav mechatroniky a technické informatiky**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Seznamte se s aplikací CANoe.
2. Proveďte reálné měření CAN komunikace na automobilu.
3. Na základě měření navrhnete emulátor pomocí aplikace CANoe pro posilovač řízení EPS.

## Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 16.5.2013

Podpis:

## Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Josefu Grosmanovi za cenné rady a jeho podporu při tvorbě této práce. Dále bych chtěl tímto poděkovat Ing. Michalu Mokrému za poskytnutí technického zázemí k realizaci této diplomové práce a v neposlední řadě Ing. Janu Koprnickému, Ph.D. za důležité rady a cenné nápady ohledně přenosu dat po CAN sběrnici.

## Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá elektrickými posilovači řízení současných automobilů a komunikací těchto elektrických zařízení se zbytkem vozu pomocí sběrnicevého systému CAN.

V úvodní části této práce je uvedeno krátké seznámení s posilovači řízení, jejich vlastnostmi, součástmi a jejich základním principem činnosti. Rovněž jsou zde uvedeny jejich výhody a nevýhody z hlediska nasazení v automobilech. Na závěr teoretické části je důkladně rozebrána technologie elektrického posilovače řízení EPS Column Drive, jehož se právě tato práce týká a veškeré praktické činnosti byly právě prováděny s tímto posilovačem řízení.

Pro vývoj konkrétního simulačního nástroje bylo použito vývojové prostředí Vector CANoe, které je velmi rozšířené a používané napříč všemi automobilkami. Před tvorbou samotného simulátoru je vhodné zmínit fáze návrhu takového systému. Jednotlivé kroky a analýzy jsou popsány v první části praktické tvorby aplikace. Velká část je zde věnována právě vývojovému prostředí CANoe.

Výstupem této práce je simulační nástroj elektrického posilovače řízení konkrétní současné automobilové platformy a jeho následné otestování na reálné sběrnici CAN automobilu. Problematika sběrnicevých systémů je detailněji rozebrána před samotným návrhem systému. Na základě prvotní analýzy posilovače řízení je vytvořen simulační model, který je možné použít pro testovací a simulační, ale zároveň slouží i jako analytická pomůcka pro bližší pochopení komunikace elektrických zařízení dnešních automobilů.

Simulační nástroj byl ověřen a otestován na reálném posilovači řízení. Tento nástroj může být v budoucnu rozšířen o další funkcionalitu, popř. použit jako nedílnou součást diagnostiky vozu před samotným repasováním daného posilovače řízení.

**Klíčová slova:** sběrnicevé systémy, CANoe, posilovač řízení, diagnostika, CAN simulace

## Abstract

This thesis deals with the electric power steering in current cars its communication with the rest of the car using the CAN bus system.

In the introductory part of this thesis there is a brief introduction to power steering, their properties, components and their basic principle of operation. There is also identified the advantages and disadvantages in terms of deployment in cars. At the end of the theoretical part is thoroughly analyzed technology EPS Electric Power Steering Column Drive, which is just the work concerned about and all practical activities were being carried out with this type of power steering.

For the development of a specific simulation tool was used development environment Vector Canoe, which is widespread and used across all automakers. Before creating simulator itself it worths to mention the design phase of a system. The steps and analysis are described in the first part of the practical creation of applications. A large part is devoted to the development environment CANoe.

The outcome of this work is the simulation tool for electric power steering of specific current car and its subsequent testing on a real car CAN bus system. The issue of bus systems is analyzed in detail prior to system design. Based on an initial analysis of the power steering simulation model is created. This model can be used for testing and simulation purposes or as a diagnostic tool. It also serves as an analytical tool for further understanding the communication of electrical equipment in today's vehicles.

Simulation tool has been validated and tested on a real power steering. This tool can be extended in the future for additional functionality, respectively. used as an integral part of the diagnosis of the car before the remanufacturing of power steering.

**Keyword:** bus systems, CANoe, power steering, diagnosis, CAN simulation

# Obsah

Prohlášení.....	4
Abstrakt.....	6
Obsah .....	8
Seznam obrázků .....	9
Seznam použitých zkratk .....	10
Úvod.....	11

## Kapitola 1

1. Posilovače řízení .....	13
1.1 Mechanické vazby řízení.....	13
1.1.1 Skříň řízení.....	13
1.2 Posilovač řízení .....	17
I. Hydraulický posilovač řízení (HyPAS) .....	17
II. Elektro-hydraulický posilovač řízení (EHPS) .....	20
III. Elektrický posilovač řízení (EPS) .....	22

## Kapitola 2

2. Sběrníkové systémy v automobilech.....	31
2.1 Princip IPO .....	31
2.2 CAN-bus (Controller Area Network) .....	33
2.2.1 Topologie sběrnice CAN.....	33
2.2.1.1 Přenosové médium.....	34
2.2.1.2 Adresování na sběrnici CAN .....	35

## Kapitola 3

3. Simulační proces reálného systému .....	37
3.1 Základní koncept modelu systému.....	37
3.2 Vector CANoe.....	40

## Kapitola 4

4. Emulace CAN komunikace .....	41
4.1 Systémová analýza návrhu emulátoru.....	41
4.2 Komunikační rozhraní pro Vector CANoe .....	43
4.3 Základní konfigurace prostředí CANoe .....	44
4.4 Vývojové bloky prostředí CANoe .....	45
4.4.1 Measurement setup .....	46
4.4.2 Simulation setup.....	46
4.4.3 Další vývojové bloky .....	47
4.5 Matice symbolických dat .....	48
4.5.1 CAN zpráva.....	48
4.5.2 Analýza relevantních zpráv a přehled funkcí.....	49
4.5.3 Databázový nástroj CANDb++ .....	51
4.6 Panel editor.....	52
4.7 Praktické ověření emulace a další rozšiřitelnost .....	56

Závěr .....	57
Zdroje .....	59
Přílohy.....	61



## Seznam obrázků

Obrázek 1 Mechanické vazby řízení.....	14
Obrázek 2 Skříň řízení typu Worm and Sector .....	14
Obrázek 3 Skříň řízení typu Worm and recirculating ball .....	15
Obrázek 4 Skříň řízení typu Cam and lever .....	16
Obrázek 5 Hřebenové řízení .....	16
Obrázek 6 Integrace posilovacího mechanismu na mechanickou část řízení .....	17
Obrázek 7 Hydraulický posilovač řízení (HyPAS).....	18
Obrázek 8 Hydraulický posilovač řízení - přímá jízda .....	19
Obrázek 9 Hydraulický posilovač řízení - natočení volantu.....	20
Obrázek 10 Elektro-hydraulický posilovač řízení .....	21
Obrázek 11 Posilovače řízení - porovnání počtu součástek.....	22
Obrázek 12 Posilovače řízení - porovnání výrobní ceny .....	22
Obrázek 13 Posilovače řízení - porovnání nárůstu spotřeby paliva.....	22
Obrázek 14 Přehled elektrických posilovačů řízení .....	23
Obrázek 15 Porovnání technologií posilovačů řízení .....	24
Obrázek 16 Elektrický posilovač řízení EPS Column Drive .....	25
Obrázek 17 Elektronické a mechanické vazby EPS .....	26
Obrázek 18 Přehled všech používaných senzorů EPS CD .....	26
Obrázek 19 Hlavní komponenty EPS CD.....	27
Obrázek 20 Složení ECU EPS CD.....	28
Obrázek 21 Složení motoru EPS CD .....	29
Obrázek 22 Sloupek řízení EPS CD .....	30
Obrázek 23 I Shaft EPS CD .....	30
Obrázek 24 Princip IPO .....	32
Obrázek 25 Komunikace řídicí jednotky .....	33
Obrázek 26 topologie sběrnice CAN .....	34
Obrázek 27 defektní stanice na sběrnici CAN .....	34
Obrázek 28 poškození hlavní sběrnice CAN .....	34
Obrázek 29 přenosové médium – twistovaná dvojlinka .....	35
Obrázek 30 Fáze 1: Simulovaný systém.....	38
Obrázek 31 Fáze 2: Částečná realizace.....	39
Obrázek 32 Fáze 3: Integrace celého systému .....	39
Obrázek 33 Systémová analýza emulátoru .....	41
Obrázek 34 Definice rozhraní emulace.....	43
Obrázek 35 CANcaseXL a CANcab.....	44
Obrázek 36 Konfigurace prostředí CANoe.....	45
Obrázek 37 Vývojové bloky CANoe .....	45
Obrázek 38 Measurement setup .....	46
Obrázek 39 Simulation setup .....	47
Obrázek 40 Okno trasování.....	50
Obrázek 41 Proces tvorby databáze .....	52
Obrázek 42 Grafický návrh rychloměru a otáčkoměru.....	53
Obrázek 43 Grafický návrh ovládání vozidla .....	53
Obrázek 44 Grafický návrh okna emulace komunikace .....	55

## Seznam použitých zkratek

**ABS** (Anti-lock Brake System)  
**ASIC** (Application-Specific Integrated Circuit)  
**ASR** (Anti-Slip Regulation)  
**CAN** (Controller Area Network)  
**CANdb++** (CAN database)  
**CANoe** (CAN open environment)  
**DIRAVI** (Direction à rappel asservi)  
**DUT** (Device Under Test)  
**ECU** (Engine Control Unit)  
**EDS** (Electronic Data Sheet)  
**ESP** (Electronic Stability Program)  
**EHPS** (Electro-Hydraulic Power Steering)  
**EMC** (Electromagnetic Compatibility)  
**EPS** (Electric Power Steering)  
**EPS CD** (Electric Power Steering Column Drive)  
**FET** (Field-Effect Transistors)  
**GMLAN** (General Motor Local Area Network)  
**HMI** (Human Machine Interface)  
**HyPAS** (Hydraulic Power Assisted Steering)  
**IPO** (Input, Processing, Output)  
**LAD** (Linear Array Device)  
**LED** (Light-Emitting Diode)  
**LIN** (Local Interconnect Network)  
**MOSFET** (Metal–Oxide–Semiconductor Field-Effect Transistor)  
**MOST** (Media Oriented Systems Transport)  
**NMEA** (National Marine Electronics Association)  
**PCB** (Printed Circuit Board)  
**RFI** (Radio Frequency Interference)  
**RPM** (Revolution Per Minute)  
**XDD** (XML Device Description)

# Úvod

Problematika řízení vozů sahá až do osmnáctého století, kdy byla v Anglii hojně využívaná kočárová doprava a stav tehdejších komunikací nebyl zdaleka nejideálnější. Děravé a rozježděné komunikace zvětšovaly nedostatky řízení kočárů, jejich odpružení a stabilitu. Erasmus Darwin, dědeček slavného Charlese Darwina najezdil ročně desetitisíce kilometrů za svými pacienty. Chtěl zmírnit nebezpečí a zároveň zvýšit komfort cestování. Jako první navrhl a vyvinul model pro řízení kočáru. O pár let později se Richard Lovell Edgeworth dozvěděl o Darwinově modelu a pomocí jeho rukopisů vytvořil rovnoramenné lichoběžníkové zavěšení kol, které se s drobnými úpravami používá dodnes [1]. Problematice řízení se věnuje první část diplomové práce, která zachycuje základní princip řízení automobilu (řízení s mechanickou vazbou i s asistencí posilovače řízení). V této kapitole je také podán podrobný přehled typů instalovaných posilovačů řízení v moderních automobilech a důkladně vysvětlen princip elektrických posilovačů řízení EPS Column Drive.

Často usedáme za volant technicky vyspělých vozů a užíváme si dostupného komfortu elektronických systémů vozidla, aniž bychom se často zamysleli, co se během činnosti nějakého konkrétního systému opravdu odehrává uvnitř. Za každým procesem se skrývají nejen vnější (výstupní) projevy daného zařízení, ale právě i vnitřní mechanismy, zajišťující bezproblémový chod zařízení a plnění jeho předem určené funkce. Elektronických systémů se v automobilech začalo využívat z důvodu stále rostoucích požadavků na bezpečnost jízdy, nízkého obsahu škodlivin ve výfukových plynech, nízkou spotřebou paliva a v neposlední řadě i jízdní komfort. Každému elektronickému systému v automobilu přísluší nějaká řídicí jednotka (např. řídicí jednotka zapalování, ABS, ESP, automatické převodovky atd.). Každá řídicí jednotka má své snímače, čidla a jiné akční členy. Počet elektrických a elektronických součástek rapidně roste s každou nově přidanou součástí. Roste nejen počet součástek, ale i množství přenesených dat po sběrnících. Tento fakt klade velké nároky na elektronickou a elektrickou část vozidla. Je důležité najít a uplatnit jednoduchý systém propojení funkčních součástí takovým způsobem, aby síť vedení byla přehledná, nezabírala příliš prostoru v automobilu a zároveň pomohla snížit hmotnost vozu. Správně navržená sběrnicová architektura může pomoci v technických i ekonomických aspektech výroby. Tyto kritéria splňuje např. sběrnice CAN, která je nyní hojně

využívána nejen v automobilovém průmyslu. Bližšímu seznámení s principem fungování sběrných systémů dnešních automobilů je věnována druhá kapitola této diplomové práce. Tato kapitola si neklade za cíl podat informace o přenosu informací hledisky bitů a bytů, ale zaměřuje se spíše na koncept současných sběrnic.

Aby bylo možné sběrný systém včetně elektronických jednotek snadno spravovat, popř. testovat a v budoucnu i rozšiřovat, nabízí se možnost využít vývojový, testovací a ladící software, který nám umožní veškerou činnost nejen simulovat, ale i sledovat v reálném čase. Takovým pomocníkem je právě vývojové prostředí Vector CANoe, ve kterém je simulační nástroj této diplomové práce vytvořen. Nespornou výhodou simulace v prostředí CANoe je možnost pracovat i se zařízeními, které nemáme fyzicky v ruce (a tudíž jej nemůžeme reálně připojit ke sběrnici), ale umíme určitým způsobem popsat jejich chování. Pokud dokážeme nadefinovat chování zařízení z hlediska komunikace po sběrnici, je možnost toto virtuální zařízení na sběrnici ovládat, jako by se jednalo o fyzické zařízení. Cílem práce je tedy vytvořit emulaci komunikace a chování posilovače řízení pomocí simulačního nástroje CANoe.

### 1. Posilovače řízení

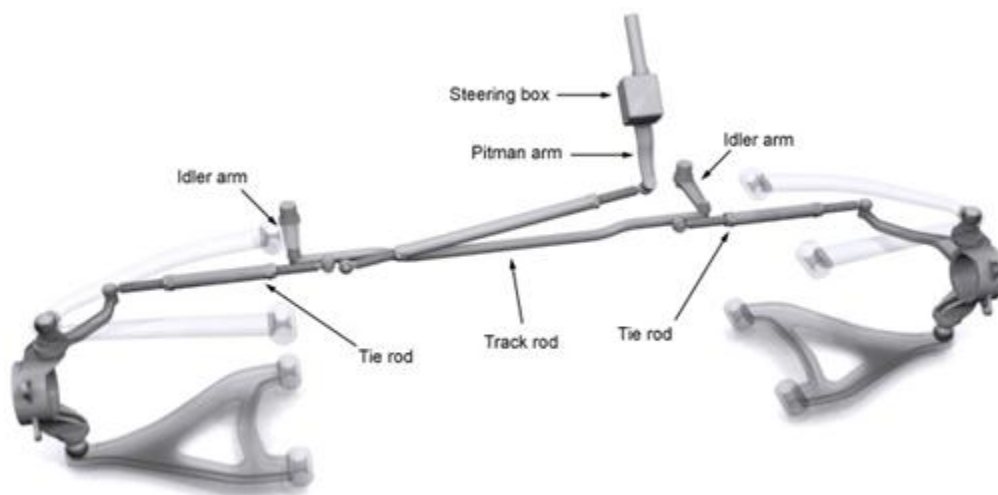
Posilovač řízení je komponenta řízení vozidla určena primárně ke snížení ovládací síly potřebné k otočení volantu. Ke snížení ovládací síly může též přispět zvětšení průměru volantu či zvýšením počtu otáček volantu potřebných k zatočení. Toto řešení se využívalo především u starších a nákladních vozidel, kde existovala pouze mechanická vazba mezi koly a volantem. Velkou ovládací sílu je potřeba vyvinout především u stojícího vozidla nebo při parkování. Je důležité si uvědomit, že posilovač řízení je pouze rozšířením existujících mechanických vazeb, kterým bude věnována první část této kapitoly. Je to tedy systém (hydraulický, elektrický či jejich kombinace), který usnadňuje řidiči natáčení nápravy vozidla pro změnu směru vozidla.

#### 1.1 *Mechanické vazby řízení*

##### 1.1.1 Skříň řízení

První zařízení pro redukci síly vyvíjenou na volant byly mechanismy obsahující skříň řízení. Je to typ řízení, do kterého vstupuje hřídel z volantu a vystupuje z něj pákové rameno, tzv. „Pitman arm“. Volantová tyč ovládá pákové rameno a pohyb na kola vozu se dále přenáší pomocí ramen, track rod a hřídelí kol. Existuje spousta druhů mechanických propojení – od přímého propojení, kde je Pitman arm přímo připojen k track rod (táhlo), ke složeným vazbám, kde je Pitman arm k zakončení track rod přes jiné ojnice (viz Obrázek 1).

Většina řízení, které pohání Pitman arm mají tzv. „mrtvý bod“ ležící ve středu řízení. Poznáme to, když točíme volantem, a chvíli trvá, než se začnou kola otáčet. Tento nedostatek nelze nijak odstranit, lze ho pouze potlačit seřízením příslušného šroubu. Největší výhodou tohoto typu řízení je, že poskytuje velkou mechanickou sílu a používá se hlavně u těžších vozidel. S příchodem posilovačů řízení se stal sporným bodem vzhledem ke složitosti návrhu, ceně a váze.



**Obrázek 1** Mechanické vazby řízení (převzato z [2])

## ***Typy skříní řízení***

### **I. Worm and Sector**

V tomto typu skříně řízení má zakončení hřídele komponentu zvanou šnek (**Worm**). Ten přímo zapadá do ozubené části, zvané **Sector** (název podle „sekcí“ – výseku celého ozubeného kola). Při otáčení volantu se zároveň otáčí šnek, který pohání zuby ozubené části a ta se otáčí kolem vlastní osy na jednu ze stran. **Sector** je připevněn na příčnou hřídel, která prochází skrz skřín řízení a na její spodní drážkovanou část je přichyceno pákové rameno (*Pitman arm*). Ten může být uchycen buď přímo na **Sector** nebo pomocí hřídele. Pokud se Sector pohybuje, otáčí se s ním i příčná hřídel, která otáčí pákovým ramenem a tím vykonává pohyb mechanického ústrojí na track rod. V případě nutnosti opravy je vyměnitelná část pouze **Sector**. Celá skřín je uzavřena a naplněna mazivem.



**Obrázek 2** Skřín řízení typu Worm and Sector (převzato z [2])

## II. Worm and recirculating ball

Toto je dosud nejpoužívanější typ skříně řazení pro páková ramena. V této skříně obsahuje šnek mnohem více závitů s jemnějším stoupáním. Matice hnacího šroubu je přichycena přes šneka, který obsahuje desítky kuličkových ložisek. Tato smyčka kolem šneka vede recirkulačním kanálem matice hnacího šroubu a vrací se zpět do šneka.

Společně s otáčením volantu se otáčí i šnek, který nutí tlačit kuličková ložiska na recirkulační kanál matice šroubu. Matice se začne pohybovat podél drážek šneka. Samotná matice obsahuje několik zubů na své vnější straně a pomocí nich otáčí sector, který je opět uchycen pomocí příčné hřídele jako u předchozího případu. Kuličková ložiska výrazně snižují tření při pohybu otočných částí a umožňuje hladší průběh řízení. Tento typ obsahuje ze všech popisovaných systému nejmenší vůli při řízení a proto je nejpoužívanější ve své kategorii. Nejběžnější oprava je výměna kuličkových ložisek.



Obrázek 3 Skříň řízení typu Worm and recirculating ball (převzato z [2])

## III. Cam and lever

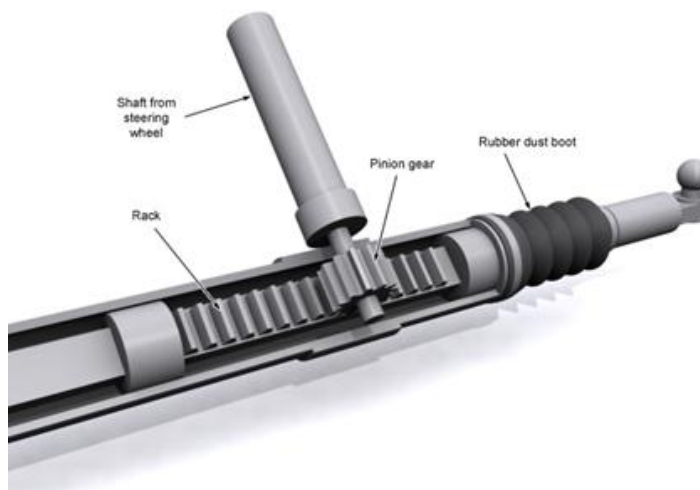
Tento typ skříně je velice podobný předchozí koncepci Worm and recirculating ball. Šnek zde plní funkci vačky. Jeho závitů jsou mnohem strmější a mělké. Ozubená část sectoru je zde nahrazena dvěma cvoky plnící funkci ložiska, které sedí v závitěch šneka. Při otočení volantem části ložiska ve šneku klouzají po jeho závitěch nahoru a dolů a to nutí příčnou hřídel k pohybu. Jeden z rysů této koncepce je, že umožňuje otočit příčnou hřídel až o 90° vzhledem k základní poloze a proto hřídel prochází nikoliv spodkem skříně, jako u předchozích koncepcí, ale boční stěnou. Umožňuje tedy vytvořit kompaktnější návrh.



Obrázek 4 Skřín řízení typu Cam and lever (převzato z [2])

#### IV. Hřebenové řízení

Tento druh řízení je dnes nejrozšířenějším typem řízení a najdeme ho téměř ve většině vozidel. Je oblíbený vzhledem k jeho jednoduchosti a nízkým nákladům na výrobu. Hřebenové systémy poskytují mnohem lepší cit při řízení a odezvu od automobilu pro řidiče. Některé automobily poskytují tzv. variabilní převod řízení. Jednotlivé zuby ozubené lišty se uprostřed skříně nacházejí blíže u sebe a dále od středu jsou od sebe více vzdáleny. To umožňuje okamžitou odezvu řízení při vjezdu do zatáčky, řízení tedy ztěžkne a zpřesní se. Na koncích hřebenu je tomu přesně naopak. Zároveň se zde úplně eliminují všechny mrtvé body a vůle při řízení. V případě větší mechanické vůle řízení, je potřeba vyměnit celé hřebenové řízení, na rozdíl od předchozích typů, kde stačila vyměnit pouze část. Tato výměna je ale velmi vzácná. V hřebenovém systému je track rod nahrazen celou skříní řízení. Tato skřín obsahuje ozubenou lištu s vodícími tyčemi na jejích koncích. Na konci tyče řízení je pastorek (odtud **Pinion**), který svým ozubením zapadá do ozubení lišty. Při otáčení volantem se otáčí pastorek a tím pohybuje celou skříní ze strany na stranu. Změna velikosti pastorku ovlivňuje výsledný převod řízení. Vyměnitelné části jsou pastorek a vodící tyče.

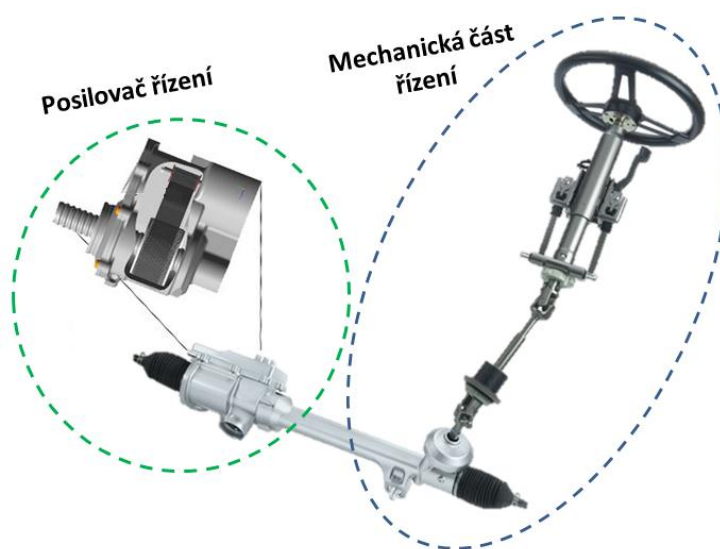


Obrázek 5 Hřebenové řízení (převzato z [2])



## 1.2 Posilovač řízení

Pokud řekneme o automobilu, že obsahuje posilovač řízení, myslíme tím, že součástí automobilu je systém (hydraulický, elektrický či jejich kombinace), který zesiluje sílu vyvíjenou řidičem vozidla otáčejícího volantem. To umožňuje snadnější řízení vozidla především v nižších rychlostech nebo při manipulaci s vozidlem na místě. První osobní vozidlo obsahující posilovač řízení byl Chrysler Imperial vyrobený roku 1951, ale první posilovače řízení pro nákladní vozidla byly již instalovány roku 1903 [3]. Posilovače řízení nemění původní architekturu řízení, ale pouze ji doplňují o další součásti.



**Obrázek 6** Integrace posilovacího mechanismu na mechanickou část řízení (převzato z [3])

### *Hlavní požadavky na posilovač řízení:*

- umožnění řízení i v případě poruchy posilovače řízení (musí být zachována mechanická vazba),
- se vzrůstající rychlostí musí zmenšovat svůj posilovací účinek.

### **Typy posilovače řízení**

#### **I. Hydraulický posilovač řízení (HyPAS)**

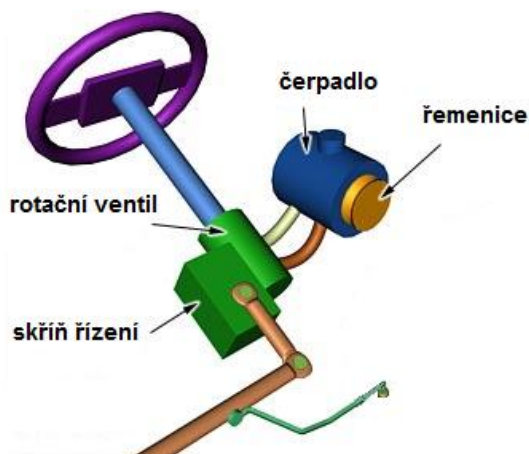
Hydraulický systém posilovače řízení používá dvě základní komponenty:

- **Rotační čerpadlo**

Zajišťuje požadovaný tlak hydraulické kapaliny. Čerpadlo je poháněno otáčkami motoru pomocí klínového řemene, který pohání kladku, jež je součástí rotačního čerpadla. Uvnitř čerpadla je soustava lopatek pohánějící hydraulickou kapalinu v soustavě. Lopatky čerpadla jsou zásobovány hydraulickou kapalinou ze zpětného vedení kapaliny pod nízkým tlakem a rotace lopatek zvyšuje tlak kapaliny na výpusti. Objem toku kapaliny je závislý na rychlosti vozidla. Čerpadlo je navrženo tak, aby zajišťovalo adekvátní průtok kapaliny i při volnoběhu automobilu. Výsledkem bývá, že čerpadlo dává do oběhu více kapaliny, než je potřeba ve vysokých rychlostech. Čerpadlo dále obsahuje přetlakový ventil, který brání příliš velkému tlaku v soustavě při vysokých rychlostech vozidla.

- **Rotační ventil**

Posilovač řízení by měl pomáhat řidiči pouze v případě, že vyvíjí sílu na volant. Pokud řidič nevyvíjí žádnou sílu, posilovací systém by měl být neaktivní. Zařízení, které snímá sílu vyvinutou řidičem, se nazývá rotační ventil. Klíčovými prvky rotačního ventilu jsou torzní tyč a ventil. Torzní tyč je tenká tyč, umístěná ve spodní části skříně řízení. Je to relativně tenká a flexibilní tyč, jejíž spodní konec brání zkrutu a zároveň její vrchní část se zkrucuje, pokud je na ní vyvíjena krouťivá síla. Rozdíl v pozici obou konců torzní tyče ovládá ventil, který umožňuje průtok hydraulické kapaliny do válce, který zajišťuje posilovací účinek. Velikost krouťivého momentu v torzní tyči je rovna hodnotě síly, kterou řidič používá k otočení kol vozidla. Čím více síly řidič vyvíjí, tím více se torzní tyč zkrucuje.



**Obrázek 7** Hydraulický posilovač řízení (HyPAS) (převzato z [4])

Ukazuje se, že tento typ posilovače řízení je velmi neefektivní vzhledem k tomu, že průtok hydraulických čerpadel je přímo úměrný rychlosti otáček motoru a zároveň dosahuje velkých energetických ztrát při přenosu hydraulické kapaliny. Hydraulický posilovač řízení je třetí největší energeticky ztrátový mechanismus v automobilu po vzdušném odporu a valivém odporu pneumatik.

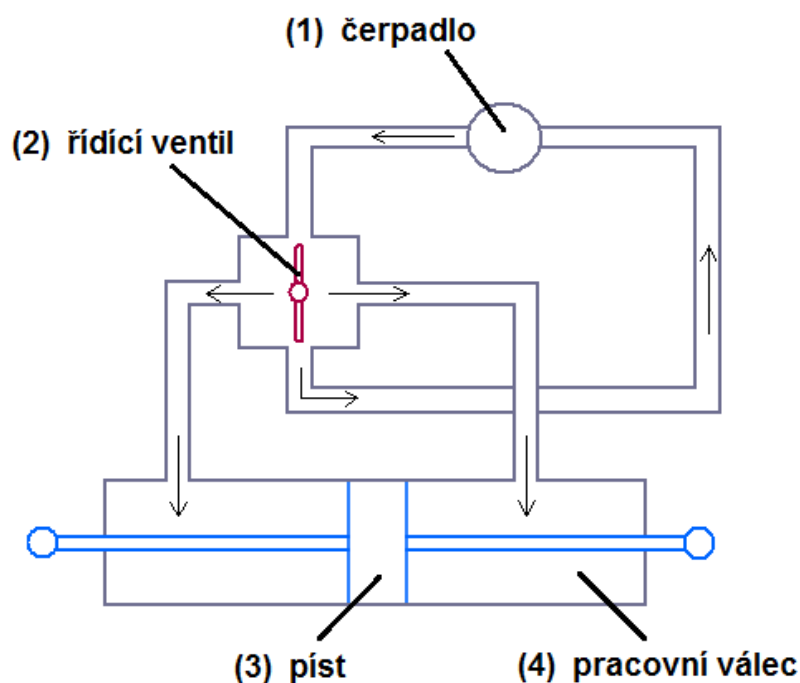
Některé moderní systémy obsahují také elektronicky řízený řídicí ventil pro redukci nadbytečného tlaku kapaliny při zvýšení rychlosti vozidla.

Speciálním případem hydraulického posilovače řízení je systém zvaný **DIRAVI**, vyvinutý firmou Citroën. Systém je plně hydraulický, tedy neobsahuje žádné přímé mechanické vazby mezi tyčí řízení a pastorkem hřebenu. Je zde zabudována automatická centralizace kol během jízdy, která budí dojem pocitu „umělého“ řízení [5]. Největší výhodou tohoto systému je právě minimum vynaložené fyzické síly ze strany řidiče a z toho plyne, že řidič nemá téměř žádnou odezvu od povrchu vozovky.

### **Princip činnosti**

#### a) přímá jízda

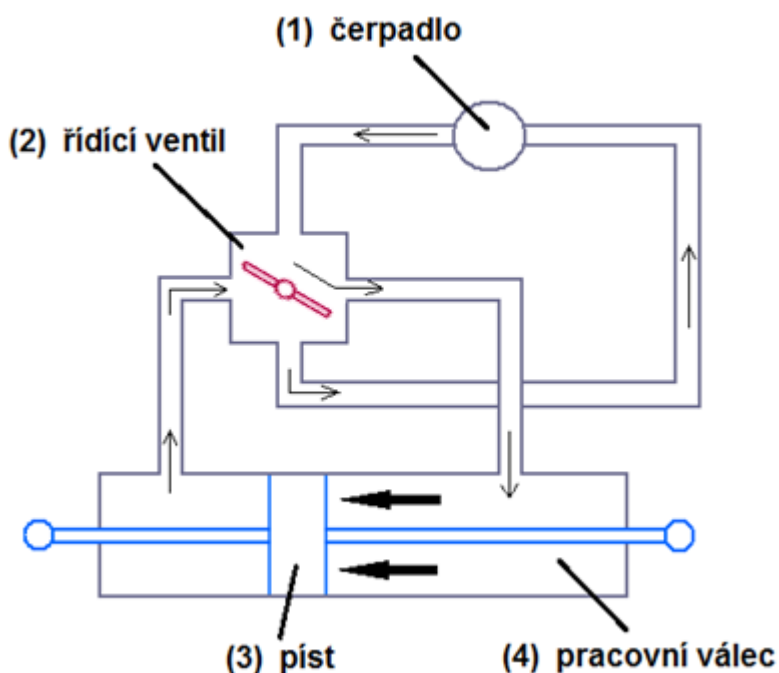
Řídicí ventil (2) se nachází v poloze umožňující proudění kapaliny z čerpadla (1) přes řídicí ventil (2) zpět do čerpadla (1). Z toho vyplývá, že na obou stranách pístu (3) je stejný tlak a tudíž se píst v pracovním válci (4) nepohybuje.



Obrázek 8 Hydraulický posilovač řízení - přímá jízda

## b) natočení volantu

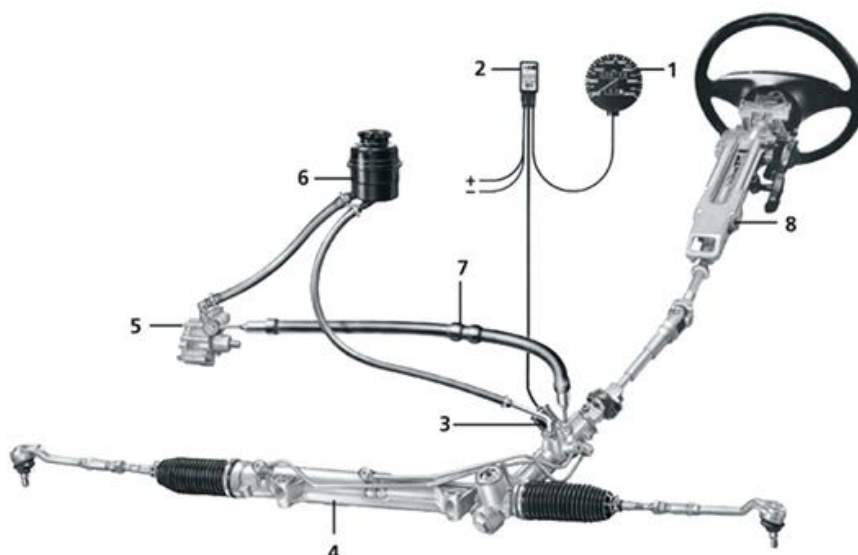
S natočením volantu se natáčí i řídicí ventil (2). Přívod kapaliny do pravé části válce (4) je stále otevřený a zároveň z levé části válce (4) je kapalina odčerpávána čerpadlem (1). Na pravé straně pístu (4) se zvyšuje tlak kapaliny a pracovní píst (4) se pohybuje doleva. Svým pohybem podporuje posun hřebenové tyče ve směru točení pastorku řízení. [4]



**Obrázek 9** Hydraulický posilovač řízení - natočení volantu

## II. Elektro-hydraulický posilovač řízení (EHPS)

Elektro-hydraulický systém, někdy nazývaný též hybridní, používá stejnou hydraulickou část posilovače jako hydraulický systém, ale tlak kapaliny vycházející z čerpadla je řízen elektrickým motorem místo řemene. Tento typ posilovače řízení se dnes až na výjimky již nevyužívá a byl nahrazen elektrickým posilovačem řízení. Jako příklad užití tohoto posilovače řízení je například první generace Škoda Fabia a Octavia.



**Obrázek 10** Elektro-hydraulický posilovač řízení (převzato z [6])

*Části elektro-hydraulického systému:*

- 1) elektrický rychloměr vozidla,
- 2) ECU – elektronická řídící jednotka,
- 3) elektro-hydraulický převodník,
- 4) hřebenové řízení,
- 5) čerpadlo,
- 6) nádrž s olejem a filtrem,
- 7) anti-vibrační smršťovací hadice,
- 8) manuálně nastavitelný sloupek řízení.

Tím, že pracuje posilovač řízení s hydraulikou, přináší přirozeně hladký pocit řízení a díky možnosti řízení pomocí elektrické energie, nabízí přesnější dávkování posilovacího účinku. Snižuje také spotřebu vozidla, protože připojené čerpadlo pracuje pouze v případě jeho potřeby.[6]

*Druhy elektro-hydraulických posilovačů:*

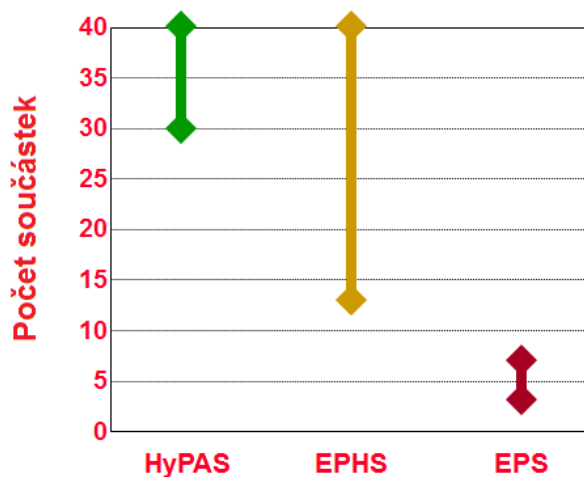
- s konstantní/proměnlivou rychlostí otáček čerpadla,
- centrálně uzavřený/otevřený.

### III. Elektrický posilovač řízení (EPS)

*Důvody pro používání elektrických posilovačů řízení:*

#### Počet součástek

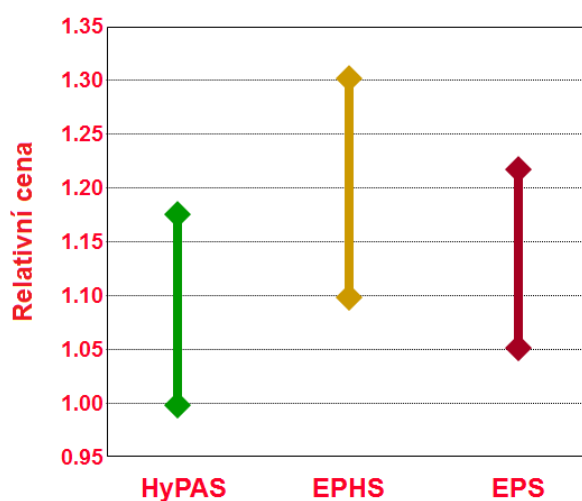
- Obrázek č. 11 ukazuje počet použitých komponent jednotlivých technologií.
- Počet komponent značně ovlivňuje umístění, složitost instalace, čas a náklady při výrobě.



**Obrázek 11** Posilovače řízení - porovnání počtu součástek (převzato z [7])

#### Cena

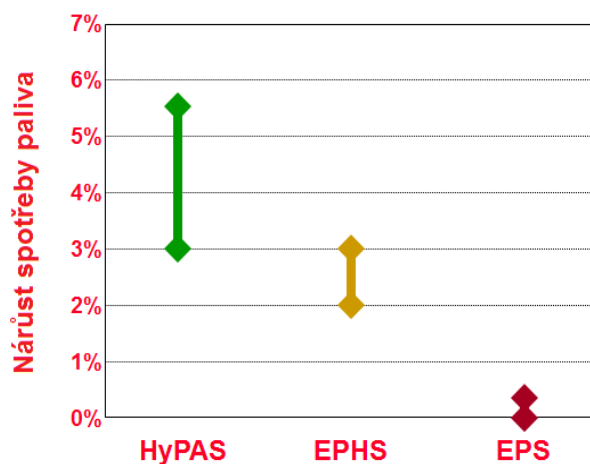
- Cena je určena vzhledem k základnímu HyPAS systému (současná třída B).
- HyPAS systém je již od svého počátku navržen pro co nejnižší cenu při vývoji.



**Obrázek 12** Posilovače řízení - porovnání výrobní ceny (převzato z [7])

### Snížení spotřeby paliva

- Obrázek č. 13 ukazuje relativní navýšení průměrné spotřeby vozidla vzhledem k manuálnímu řízení.

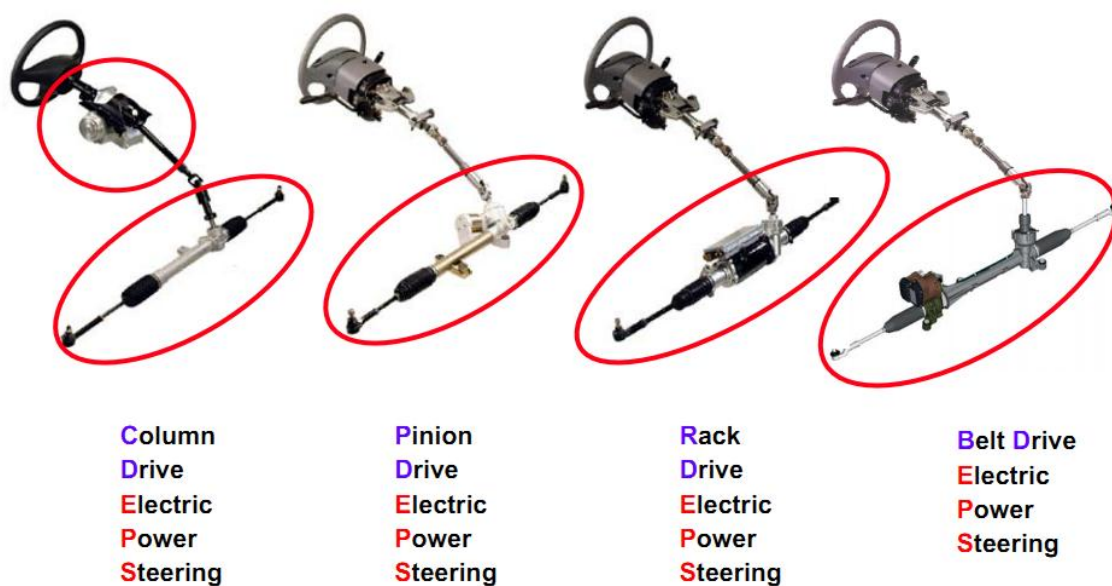


Obrázek 13 Posilovače řízení - porovnání nárůstu spotřeby paliva (převzato z [7])

### Různé operační módy posilovače

- **Běžný řídicí mód** – posilovací účinek je zajišťován v závislosti na vstupních údajích senzoru.
- **Návratový řídicí mód** – použit pro asistenci návratu volantu do původní polohy po projetí zatáčkou.
- **Tlumící řídicí mód** – mění se s rychlostí vozidla pro lepší tlumení zpětných rázů od povrchu vozovky, ovlivňuje vybočení automobilu a zvyšuje stabilitu.

### *Přehled elektrických posilovačů řízení*



Obrázek 14 Přehled elektrických posilovačů řízení. (převzato z [7])

## Porovnání technologií posilovačů řízení

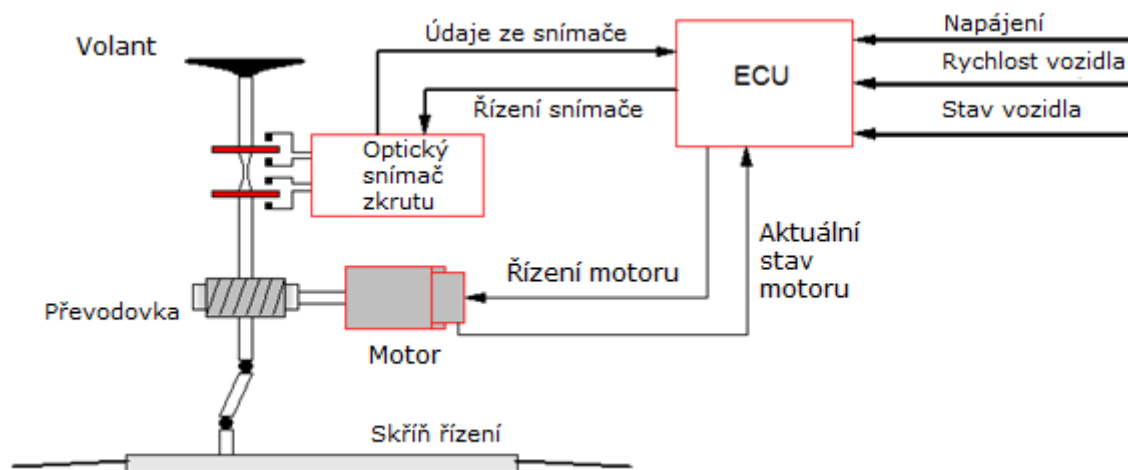
Prvotní hydraulické posilovače řízení byly navrženy a využívány v dobách, kdy ještě nenastal konkurenční boj mezi automobilkami v nižší emisní produkci CO<sub>2</sub> a proto se hydraulický posilovač podílí i na zvýšené spotřebě paliva. Tato zvýšená spotřeba není nikterak dramatická a jistě to není největší ztrátový mechanismus ve vozidle. Z hlediska počtu komponent nepatří též hydraulický posilovač mezi nejlepší. Jeho značný počet komponent naznačuje, že se jedná o poměrně složité zařízení a v případě nutnosti opravy je potřeba počítat s vyššími náklady. Nespornou výhodou tohoto posilovače je, že je schopen výkonnostně pokrýt široký segment vozidel od vozidel nižších tříd až po těžká vozidla. Přidáním několika elektronických prvků k původnímu hydraulickému systému vznikl hybridní posilovač řízení, který měl za cíl snížit spotřebu paliva a zároveň snížit počet použitých komponent. Dnes jsou nejvyužívanějším typem elektrické posilovače řízení, pomocí nichž lze dosahovat velmi nízkých hodnot CO<sub>2</sub> a zároveň využít moderních technologií vozidla, jako je např. parkovací asistent. Tato funkce automatického parkování je v případě využití hydraulického posilovače nemožná.[7]

	<b>HyPAS</b>	<b>EPHS</b>	<b>EPS</b>
<b>Spotřeba paliva</b>	nárůst ~3-5%	nárůst ~0,4-1,2%	nárůst ~0,2%
<b>Instalace</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>30-40 komponent</li> <li>systém testován/upraven na lince</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1-11 komponent podle druhu</li> <li>naplnění kapalinou a finální test na výrobní lince</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1-7 komponent</li> <li>výstupní test s autokonfigurací jednotky pro příslušné vozidlo</li> </ul>
<b>Možnost úprav</b>	Vyžaduje úpravu čerpadla a skříně	jako HyPAS systém, ale obsahuje softwarové řízení	ve vozidle pod softwarovým řízením, žádná proměnlivost systému od systému
<b>Váha</b>	14-16 kg	15-18 kg	12-14 kg
<b>Výkonová kategorie použití</b>	téměř všechny kategorie	téměř všechny kategorie	malá až střední vozidla, Belt Drive rozšiřuje výkonové možnosti EPS
<b>Flexibilita uchycení</b>	závislost na motoru a pohonu kol	všeobecně nezávislé na druhu motoru a pohonu kol	všeobecně nezávislé na druhu motoru a pohonu kol
<b>Dnešní cena</b>	referenční cena pro ostatní typy	> HyPAS (zvláštní komponenty)	blízká HyPAS (třída B)

**Obrázek 15** Porovnání technologií posilovačů řízení (převzato z [7])



## EPS Column Drive (EPS CD)



**Obrázek 16** Elektrický posilovač řízení EPS Column Drive (převzato z [8])

Systém byl původně navržen pro segment menších vozidel. Nyní nabízí modulární a škálovatelný systém, který pokrývá rozsah posilovacích sil od 4kN do 10kN. Jeden z hlavních benefitů CD systému je jeho šikovné zapouzdření. Umístění do kabiny vozidla umožní snížit jeho pracovní teplotu a minimalizuje nároky na utěsnění bloku oproti systémům umístěným v motorovém prostoru.

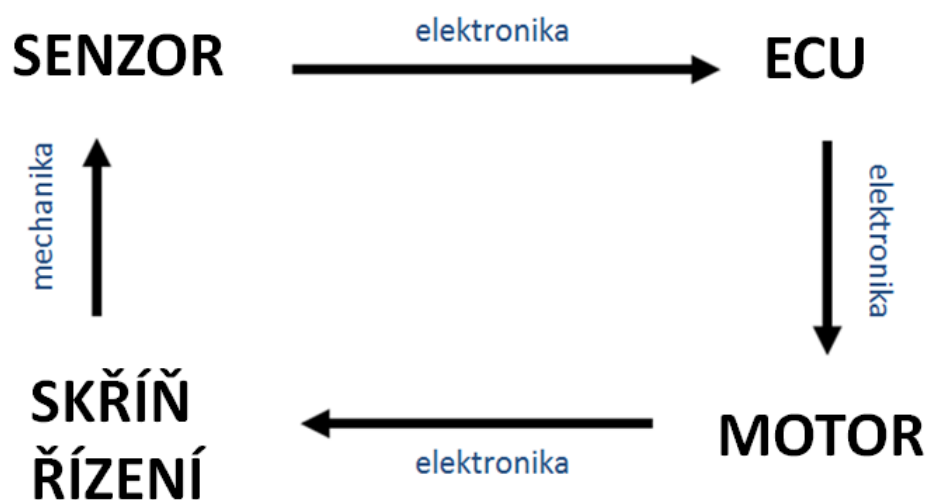
Řídicí senzor je umístěn na vstupní hřídeli, kde hřídel vstupuje do skříně řízení. Řídicí senzor obsahuje dvě části - snímač krouticího momentu, který přeměňuje vstupní krouticí moment volantu a jeho směr na hodnotu elektrického napětí a rotační senzor, který přeměňuje otáčky a směr na elektrické napětí. EPS dále obsahuje obvod „rozhraní“, který přeměňuje signály z obou částí senzoru na signály pro řídicí elektroniku. Řídicí jednotka také přijímá data o rychlosti vozidla. Vstupy senzoru jsou porovnávány k vyhodnocení posilovacího účinku podle předprogramovaných „výkonových map“ (force map) v paměti řídicí jednotky. Řídicí jednotka následně vyše příslušný signál pohonné jednotce, která velikostí elektrického proudu ovládá elektromotor. Elektromotor posouvá skříň řízení doprava nebo doleva podle polarity napětí. Otočení směru proudu změní směr otáčení motoru. Zvýšením elektrického proudu tekoucího do motoru se zvyšuje posilovací účinek.

Pokud je volant držen ve své krajní poloze a posilovací účinek dosahuje svého maxima, řídicí jednotka redukuje proud tekoucí do elektrického motoru, aby zabránila přetížení systému. Řídicí jednotka je zároveň navržena, aby byla chráněna před napěťovými rázy poškozeného alternátoru nebo při problémech dobíjení. Řídicí

jednotka může provádět i tzv. samodiagnostiku monitorováním systémových vstupů a výstupů s kontrolou hodnoty elektrického proudu v elektromotoru. Pokud nastane chyba, řídicí jednotka sepne ochranné relé umístěného přímo v jednotce. Tím eliminuje veškerou činnost posilovače řízení a řízení je čistě mechanické.

Elektrické posilovače řízení umožňují i práci v několika provozních režimech, jako je například režim CITY, kdy je posilovací účinek aplikován pomocí jiné křivky (mapy) v řídicí jednotce – v tomto případě se jedná o parkovací režim.[8]

Podle obrázku 17 můžeme vazby mezi jednotlivými součástmi rozdělit následovně:



Obrázek 17 Elektronické a mechanické vazby EPS (převzato z [8])

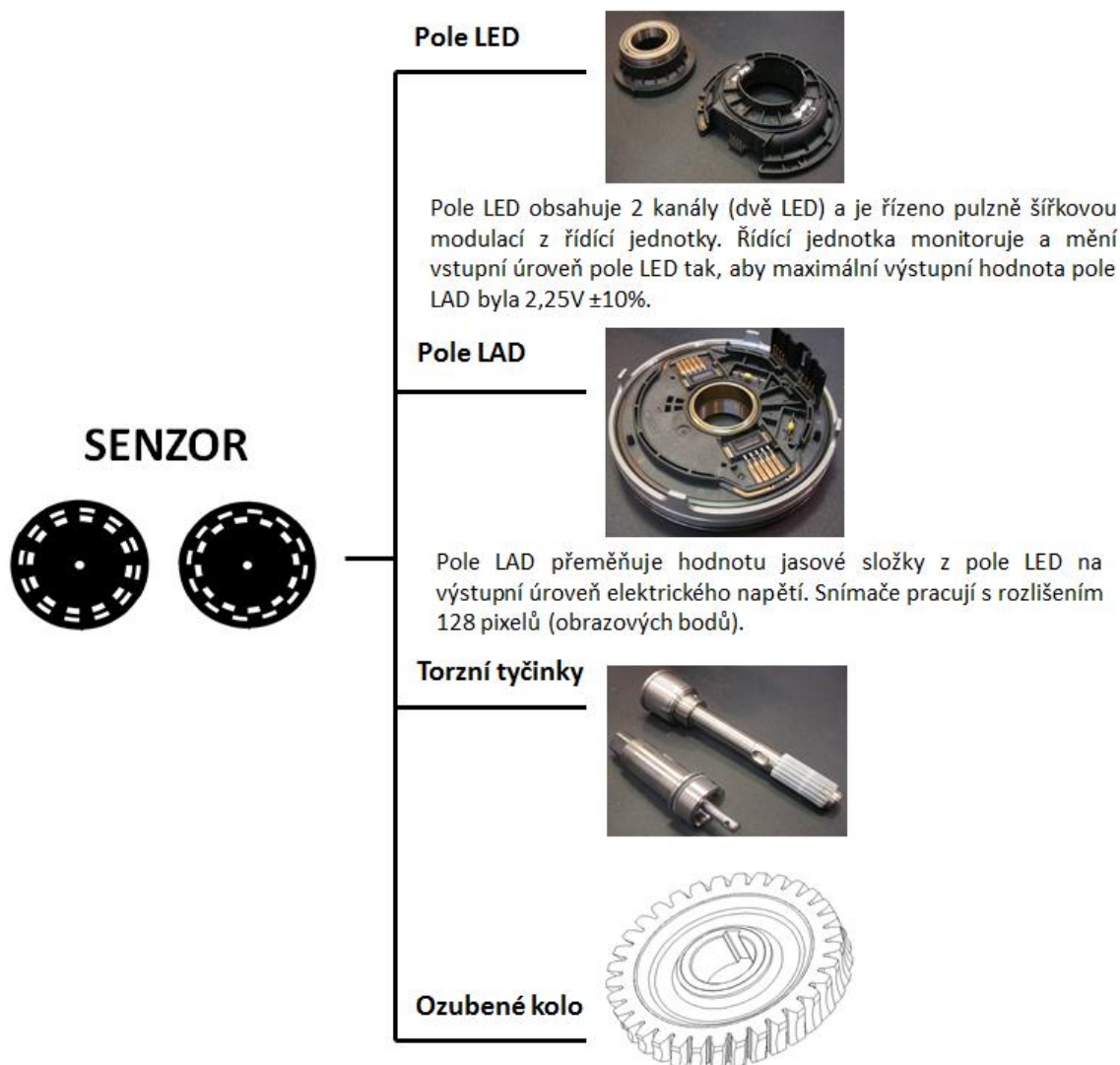
## Komponenty EPS CD

### 1. Senzor (optický)

	Zkrutný element	EMC	Bezkontaktní	Vnitřní snímání polohy
<b>tenzometr</b>	Hřídel s ochranou proti překroucení	Malé signály	Ano	Ne
<b>magnetostrikční</b>	Hřídel	Neznámé	Ano	Ne
<b>potenciometrický</b>	Torzní tyč s ochranou proti překroucení	Velké signály	Ne	Ne
<b>induktivní</b>	Torzní tyč s ochranou proti překroucení	Některé případy	Ano	Ne
<b>optický</b>	Tuhá torzní tyč s ochranou proti překroucení	Výborná	ano	ano

Obrázek 18 Přehled všech používaných senzorů EPS CD (převzato z [8])

Kotouče umístěné na každém konci torzní tyči umožňují měnit intenzitu světla procházející skrz otvory obou kotoučů v poměru přenášeného krouticího momentu z volantové tyče. Na obrázku 19 jsou zobrazeny hlavní komponenty senzoru EPS CD.

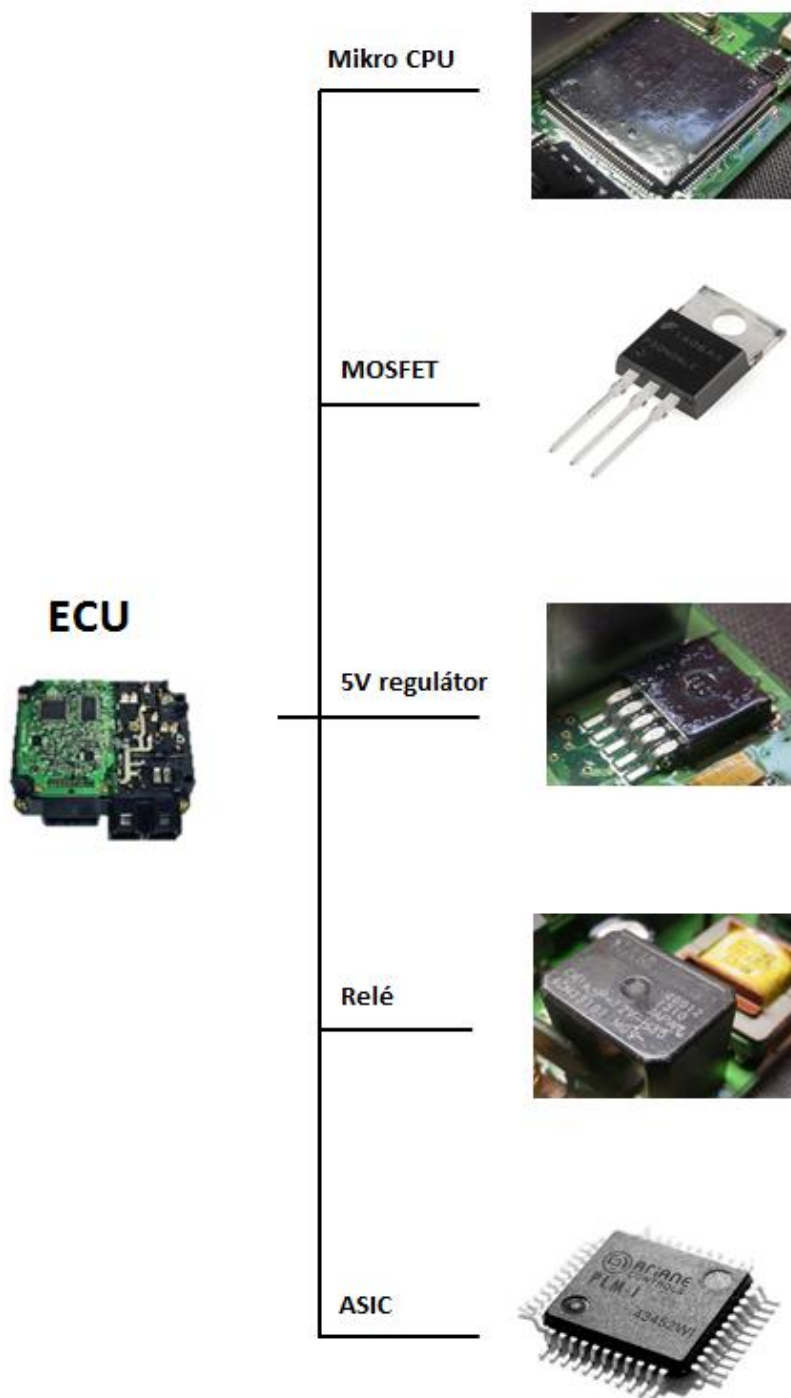


Obrázek 19 Hlavní komponenty EPS CD (převzato z [8])

## 2. ECU (řídící jednotka motoru)

ECU je druh elektronické řídicí jednotky, která ovládá pohon motoru k zajištění jeho optimálního chodu. ECU získává hodnoty senzorů a tyto získané hodnoty porovnává s hodnotou tzv. „výkonových map“ (často nazývané Look-up tabulky). Výsledek porovnání upraví pohon motoru odpovídajícím způsobem. Složení ECU je znázorněno na obrázku 20. Mikroprocesor provádí nepřetržitou diagnostiku systému, čte a vypočítává výstupy senzorů, přijímá a vysílá CAN zprávy ve voze a ovládá

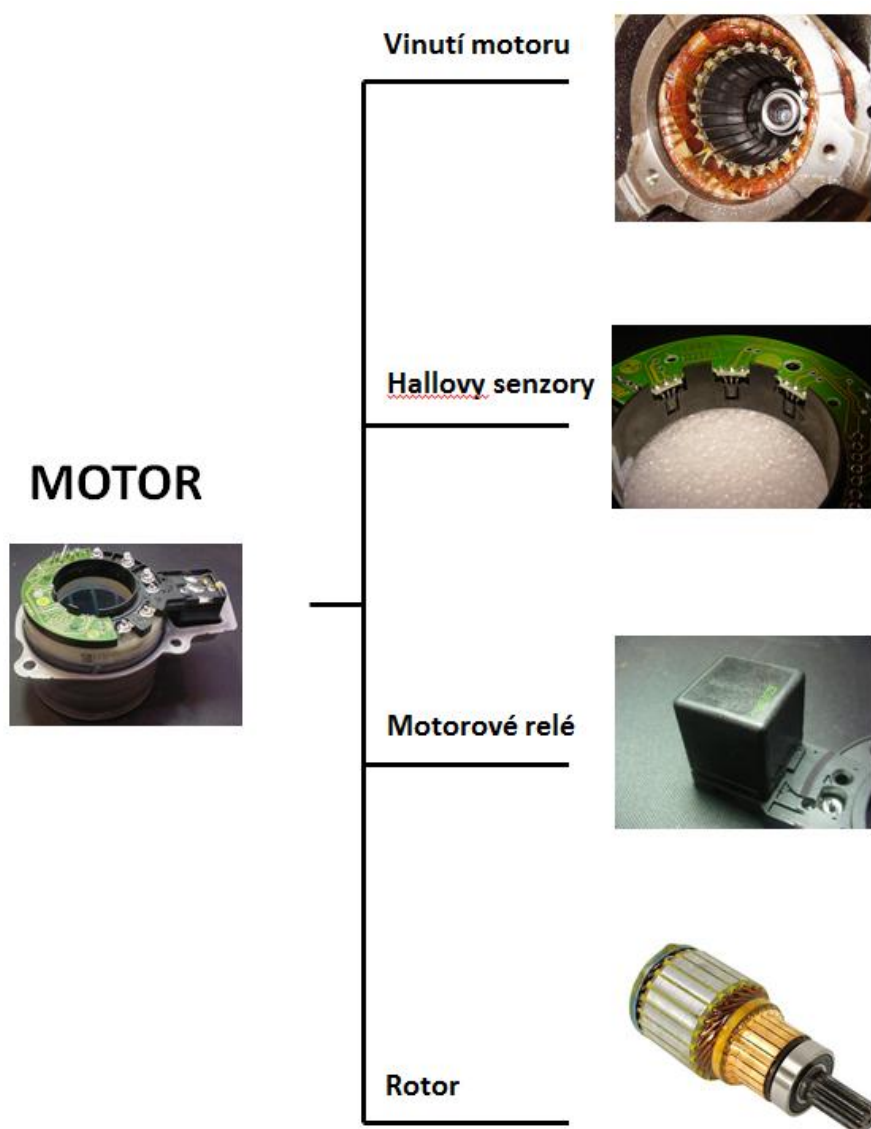
MOSFET tranzistory. ECU používá 6 výkonových tranzistorů typu MOSFET k přepínání elektrického proudu ve fázích elektromotoru a tím kontroluje rotaci rotoru. Jako napěťový regulační prvek je použit 5V regulátor, který zajišťuje nezbytné napájení mikroprocesoru a poskytuje regulované elektrické napětí z proměnlivého napětí baterie vozidla. Relé ECU zajišťuje napájení všech MOSFET tranzistorů a je řízeno přímo mikroprocesorem a bezpečnostním ASIC (umožňuje jednomu z prvků vypnout relé v případě nouze).



**Obrázek 20** Složení ECU EPS CD (převzato z [8])

### 3. Motor

Motor použitý v EPS je bezkomutátorový třířázový motor s měděným vinutím statoru a permanentním magnetem na rotoru. To zajišťuje nízkou setrvačnost a nízké tření. Motor je zapojen pomocí hvězdicového zapojení třířázového typu a je poháněn třemi modulovanými napětími sinusového charakteru o posunu o  $120^\circ$ . Zpětnou vazbu pro ECU zajišťují Hallovy senzory. Snímají pozici rotoru a posílají signál do mikroprocesoru ECU. Jako ochranný prvek je opět použito relé motoru zajišťující elektrickou izolaci vinutí motoru v případě selhání zařízení. Obrázek 21 zachycuje schématické znázornění jednotlivých komponent motoru EPS.

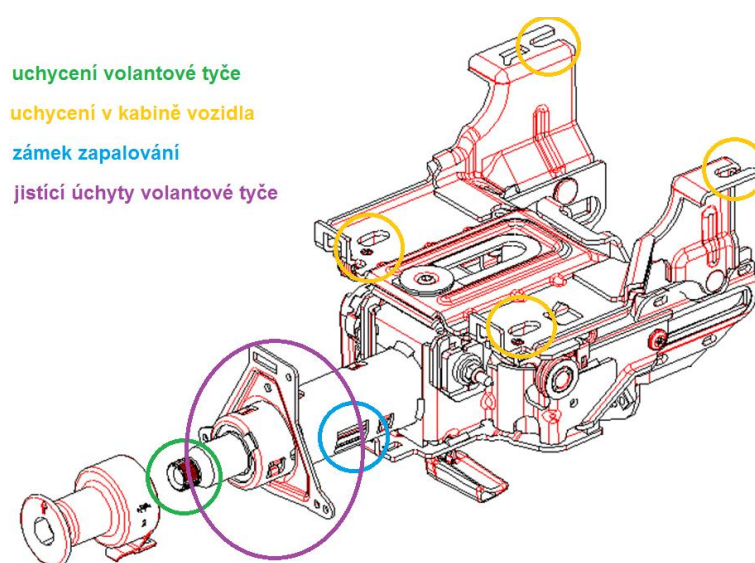


Obrázek 21 Složení motoru EPS CD (převzato z [8])

#### 4. Výkonové profily (mapy)

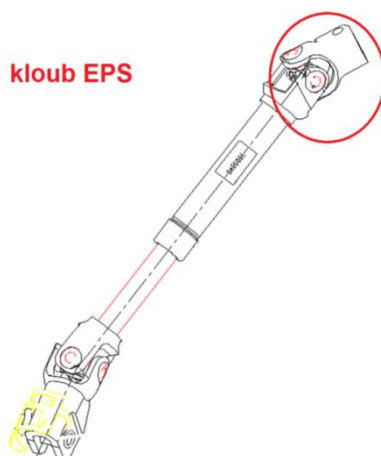
ECU má v sobě předprogramované výkonové mapy. Na základě vstupů (krouticí moment, rychlost vozidla a pozice volantu při řízení) využívá mapy pro vyhodnocení odpovídajícího výstupního výkonu a směrového signálu pro elektromotor. Mapa je přímo implementována v softwaru ECU. Výhodou výkonových map je možnost okamžitých změn parametrů pro různé typy vozidel (stačí nahrát do ECU jinou mapu).[8]

#### 5. Sloupek řízení



Obrázek 22 Sloupek řízení EPS CD (převzato z [8])

#### 6. I Shaft



Obrázek 23 I Shaft EPS CD (převzato z [8])

### 2. Sběrníkové systémy v automobilech

Elektronických systémů se v automobilech začalo využívat z důvodu stále rostoucích požadavků na bezpečnost jízdy, nízkého obsahu škodlivin ve výfukových plynech, nízkou spotřebou paliva a v neposlední řadě i jízdní komfort. Každému elektronickému systému v automobilu přísluší nějaká řídicí jednotka (např. řídicí jednotka zapalování, ABS, ESP, automatické převodovky atd.). Každá řídicí jednotka má své snímače, čidla a jiné akční členy. Počet elektrických a elektronických součástek tedy rapidně roste s každou nově přidanou součástí. Roste nejen počet součástek, ale i množství přenesených dat po sběrnících. Vzhledem k tomu, že každá řídicí jednotka neustále kontroluje činnost a stav zařízení k ní připojených, musí být tyto činnosti vzájemně skloubené (např. zmenšení hnacího momentu za účelem zamezení prokluzu hnacích kol při akceleraci/deceleraci).

Společné využívání snímačů a čidel různými řídicími jednotkami vedlo ke tvorbě sběrnice, která by tyto informace byla schopna sdílet bez neustálého navyšování komplexity systému. Kvůli neustále rostoucím požadavkům na kvalitu elektroinstalace automobilu, je u motorových vozidel důležité splnit následující kritéria:

- systém musí být efektivní a mít dostatečnou výkonovou rezervu a musí být v budoucnu libovolně rozšiřitelný podle potřeby,
- systém musí být odolný vůči selhání; montáž v prostředí automobilu představuje velké nároky na stabilitu celého systému kvůli vysokým teplotním rozdílům v motorovém prostoru, různým vibracím a elektromagnetickým vlivům,
- přes tyto požadavky musí být ekonomicky dostupný a v dostatečném množství.

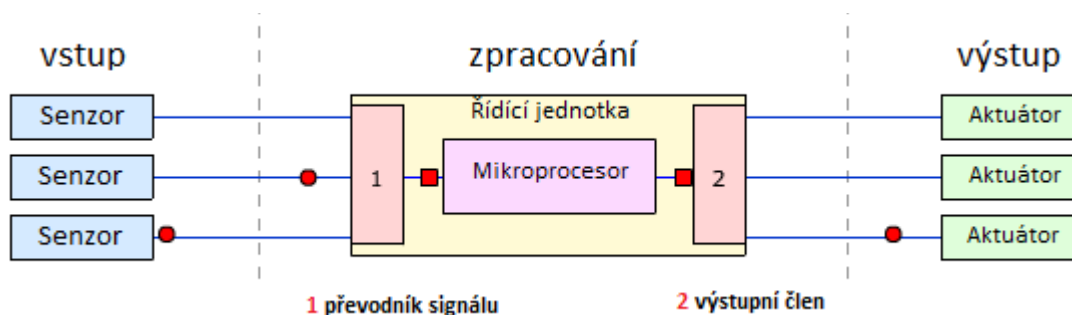
#### 2.1 *Princip IPO*

Každý systém na zpracování informací pracuje podle principu **IPO** (**I**nput, **P**rocessing, **O**utput). Jednotlivé operace jsou v komunikační soustavě řízeny vstupním signálem (ten generuje např. senzor) a vykonávány řídicí jednotkou.

Vstupní data pro řídicí jednotku mohou být analogová (např. teplotní čidlo), digitální (dveřní spínač) nebo nějaká konkrétní frekvence (např. snímač otáček kola).



O tento krok se stará převodník signálu na vstupu každé jednotky (viz Obrázek 24). Stejně tak ovládací příkazy řídicí jednotky musí být zpracovány do signálů, kterým rozumí připojené koncové stupně. To zajišťuje výstupní člen jednotky (viz Obrázek 24). Tento výstupní člen musí být dostatečně dimenzován, aby byl schopen dodávat dostatečný výkon pro připojené koncové stupně (např. servomotory). Systém pohonu přijímá digitální (např. světla) nebo analogové (např. servomotor) řídicí příkazy.



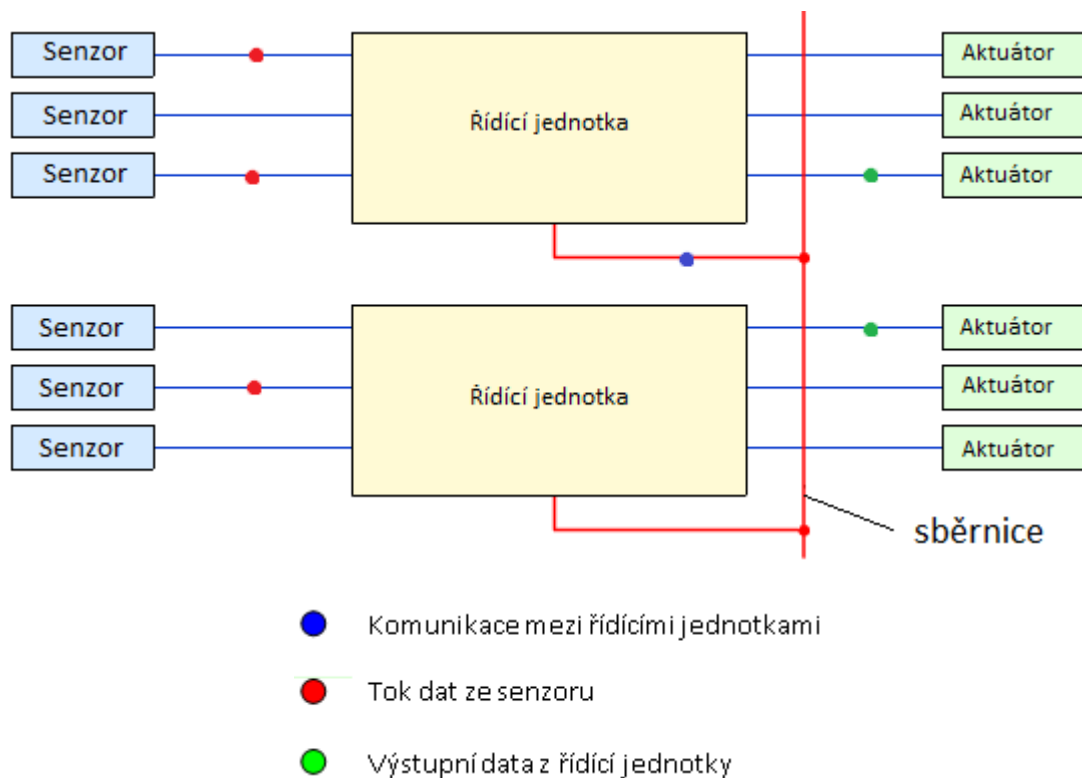
Obrázek 24 Princip IPO (převzato z [9])

Často je potřeba sdílet jeden senzor více řídicími jednotkami, např. údaj o rychlosti vozidla potřebuje zároveň jednotka ABS i ASR. Senzor nemusí být umístěn ve vozidle vícekrát, stačí jej zpřístupnit různým řídicím jednotkám. K tomuto účelu slouží sběrnice propojení všech řídicích jednotek propojených mezi sebou datovou linkou. Toto propojení se skládá z řadiče sběrnice a transceiveru (síťový prvek, který umožňuje překlad toku informací z jednoho typu sítě na typ jiný). Řadič sběrnice koordinuje přenos a příjem dat skrz sběrnici a tím odlehčuje práci mikroprocesoru v řídicí jednotce.

Je důležité, aby se dodržovala pevně stanovená pravidla pro komunikaci po datové sběrnici. Tato pravidla jsou stanovena v přenosovém protokolu a o jejich dodržování se stará právě řadič sběrnice. Obdobně jako u převodníku signálu a výstupního členu, transceiver dbá o to, aby všechny signály na sběrnici byly správně přeloženy do srozumitelné podoby pro řadiče sběrnice. Řadič sběrnice a transceiver bývají běžně propojeny jako jedna část obvodu (viz Obrázek 25).

Následně mohou jednotky komunikovat vzájemně mezi sebou a požadovat či připravovat data pro jiné jednotky. Nyní je možné, aby jakákoliv jednotka automobilu mohla ovlivnit libovolný aktuátor ve vozidle (viz Obrázek 25).[9]





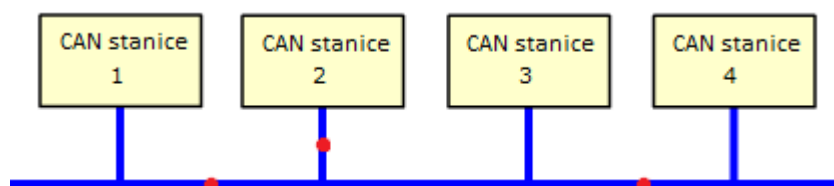
Obrázek 25 Komunikace řídicí jednotky

## 2.2 CAN-bus (Controller Area Network)

Předchůdcem CAN sběrnice v automobilovém průmyslu byla sériová linka K-line. Tato K-line sběrnice měla komunikaci rozdělenou mezi fyzickou, linkovou a aplikační vrstvou. S příchodem CAN-bus se komunikace rozšířila o transportní vrstvu, která upravuje data z aplikační vrstvy, aby je bylo možné po této sběrnici přenést. Aplikační vrstvě se poté jeví komunikace totožně, jako by rovnou probíhala pomocí linkové vrstvy K-line. Transportní vrstva slouží k vytvoření spolehlivé virtuální dvoubodové spojení, které u starší K-line bylo definované již na linkové vrstvě. Komunikace po CAN sběrnici využívá model přenosu po sériové lince. Maximální teoretická rychlost přenosu po sběrnici je  $1 \text{ Mb} \cdot \text{s}^{-1}$ . Cílem této kapitoly je základní přehled funkcionality sběrnicevých systému v automobilu, nikoliv detailní specifikace. Detailnější informace je možné nalézt přímo ve specifikaci sběrnice CAN (viz [10]).

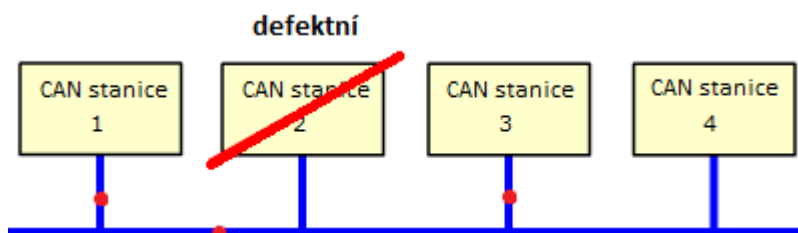
### 2.2.1 Topologie sběrnice CAN

Sběrnice CAN využívá sběrniceovou topologii. Všechny CAN stanice mohou být připojeny na existující sběrnici využívající této topologie (viz Obrázek 26).



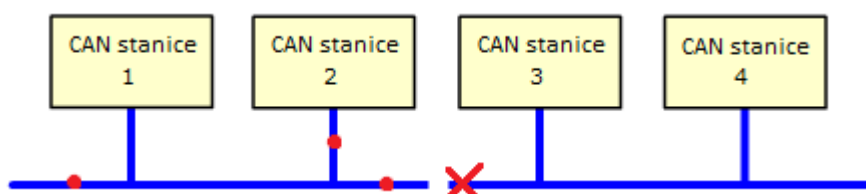
**Obrázek 26** Topologie sběrnice CAN

Tato topologie je výhodná v tom, že při výpadku jedné stanice je síť stále funkční a průchozí pro ostatní stanice (viz obrázek 27). Tato defektní stanice je pouze pro ostatní nedostupná.



**Obrázek 27** Defektní stanice na sběrnici CAN

Problém ovšem nastává, pokud je poškozena hlavní sběrnice. Jeden celistvý segment se rozdělí na dílčí segmenty a tyto nemohou mezi sebou již komunikovat. Dle obrázku 28 jsou stanice stále provozuschopné, jen se jeví jako nedosažitelné pro ostatní.



**Obrázek 28** Poškození hlavní sběrnice CAN

Jedním z řešení toho problému je propojení celků pomocí datové sběrnice CAN. Tato sběrnice je též využitelná i pro diagnostické účely. V dnešní době se CAN-bus rozšiřuje i do jiných odvětví, např. průmyslové automatizace.

### 2.2.1.1 Přenosové médium

Pro přenos dat byl dříve použit pouze jeden vodič. Kvůli použití pouze samostatného vodiče nedosahovala přenosová rychlost příliš vysokých hodnot. Kromě toho, musely být všechny stanice připojené ke společnému uzemnění vozidla. To mělo

za následek větší náchylnost na okolní elektrické rušení. CAN sběrnice je výrazně efektivnější ve dvojlinkovém návrhu a využívá se dnes častěji (viz Obrázek 29). Oba datové vodiče (CAN-H a CAN-L) jsou navzájem propleteny a jsou tudíž méně náchylné na vnější elektrické rušení. Dodatečně stínění, jako např. v koaxiálním kabelu zde není. Každý vodič přenáší stejnosměrné napětí pro napájení připojeného transceiveru. Neexistuje žádné standardní barevné rozlišení vodičů, proto mohou mít oba typy kabelů odlišné barvy v závislosti na výrobci.



**Obrázek 29** Přenosové médium – twistovaná dvojlinka (převzato z [11])

Sběrnice CAN se dnes i nadále využívá v jednovodičové variantě. Využívají ji například vozy značky Opel. Kvůli svým vlastnostem se v automobilech používá především jako pod-sběrnice v klimatizacích a střešní elektronice.

Přenos dat po lince CAN probíhá v digitální podobě (kódování signálu do dvou stavů – hodnota "0" a hodnota "1"). CAN sběrnice tedy reprezentuje dvě hodnoty ("0" a "1") dvěma úrovněmi napětí (CAN-H a CAN-L). V praxi to znamená, že oba vodiče přenášejí stejný řetězec nul a jedniček, ale za použití jiné úrovně napětí.

Pokud je žárovka připojena k elektrickému obvodu s vypínačem, rozsvítí se v případě, že je vypínač zapnutý. To je interpretováno jako logický stav "1". CAN sběrnice pracuje přesně opačně (negativní logika). Pokud žádné zařízení nevysílá, je sběrnice ve stavu "1".[11]

### **2.2.1.2 Adresování na sběrnici CAN**

Na sběrnici CAN jsou pro uskutečnění komunikace vždy zapotřebí alespoň 2 stanice. Většinou je to ale podstatně větší počet stanic. To má za následek, že po sběrnici bude přenášeno velké množství zpráv, ačkoliv není každá zpráva pro každé zařízení relevantní. Proto je nezbytné každou vyslanou zprávu označit, resp. jí opatřit "adresou", která je jedinečná v rámci systémové sběrnice CAN.

## **Adresování podle obsahu**

V běžné praxi identifikujeme jednou adresou jednoho odesílatele nebo jednoho příjemce. CAN protokol nemá ovšem žádná informace týkající se stanic před jejich adresováním. CAN zpráva se označí podle jejího obsahu, tzn., že adresa zprávy na sběrnici popisuje její obsah. Proto v systému CAN-bus mluvíme o identifikátoru, ne o "adrese". Zprávy jsou doručovány do všech CAN stanic a až sama stanice na základě identifikátoru rozhodne, zda je aktuální zpráva pro ni důležitá či nikoliv. Pokud není zpráva označena žádným identifikátorem, je interpretována jako "zpráva pro všechny" a hovoří se o tzv. "broadcastu". Tento princip vysvětluje následující příklad. Řidič ovládá spínač světel v automobilu. Řídící jednotka vyše zprávu typu "světla zapnout/vypnout" s vlastním identifikátorem na palubní desku po sběrnici CAN. Tuto zprávu nejprve obdrží všechny ostatní regulátory. Například řídící jednotka dveřního systému bude zprávu ignorovat, protože to není relevantní zpráva pro dané zařízení. Řídící jednotka světel tuto zprávu přijme a vyhodnotí její obsah. Obsah zprávy nyní závisí na tom, zda světla zapnout nebo vypnout. Nyní mají všechny zprávy pro řídící jednotku osvětlení stejný identifikátor bez ohledu na jejich obsah. Identifikátor se též používá pro arbitraci sběrnice.[9]

### 3. Simulační proces reálného systému

Tato kapitola plně navazuje na předchozí kapitolu o sběrniceových systémech současných vozidel. Na základě obecných informací o přenosových mechanismech datových linek CAN sběrnice je tato kapitola zaměřena především na vyšší vrstvy simulace, především té aplikační. Úvodní část kapitoly je věnována vývojovému nástroji Vector CANoe a je zde podrobně vysvětlen celý vývojový proces systému. Je vhodné si uvědomit, že CAN sběrnice není jedinou používanou sběrnicí v automobilech, ale existuje řada jiných, velmi využívaných sběrnic jako např. LIN, MOST atd. Stručný přehled používaných a podporovaných sběrnic prostředím Vector CANoe je možné nalézt v následující podkapitole 3.2

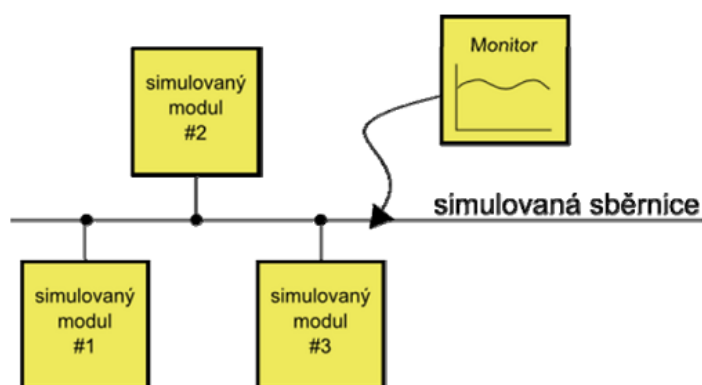
Pro vybudování kompletního komunikačního systému je nutné pečlivě naplánovat komunikační vztahy mezi všemi zařízeními. Často se tento úkon provádí na běžný papír bez možnosti dalšího elektronického zpracování. Častokrát se setkáváme s řešením v podobě databáze a vyjádření vztahů pomocí relací. To umožňuje další možné zpracování, jako je např. výrobní dokumentace. Ať se rozhodneme pro libovolné řešení, žádné z výše uvedených neumožňuje uplatnit CAN specifické know-how. S nástrojem pro CAN simulaci můžeme komunikaci jednoduše naplánovat a popsat podle požadovaného chování jednotek. Pro popis zařízení se používá tzv. EDS soubor. Existují dva typy EDS souborů – jeden ve formě „elektronické příručky“ ve formátu INI souboru systému Windows a druhý ve formě XDD uvedený v roce 2008, který je založen na formátu XML a dochází k jeho průběžné aktualizaci.[12]

#### 3.1 Základní koncept modelu systému

##### *Fáze 1: Simulovaný systém - analýza požadavků systému a návrh zapojení*

Nejprve se rozdělí a načrtnou důležité celky systému tak, aby zapojení odpovídalo reálné topologii. V tomto kroku se jednotlivá funkčnost systému rozdělí mezi uzly sítě. Tento krok také zahrnuje definice zpráv a výběru přenosové rychlosti sběrnice. Pro kontrolu výsledného chování sítě je možné nejprve použít simulační utilitu, která odhadne zatížení sběrnice a latenci podle předepsané přenosové rychlosti

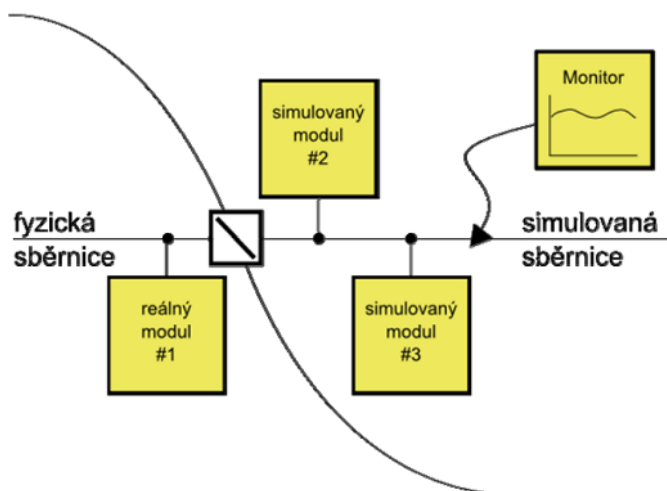
(baud rate). Pro přesnější studii chování celého systému je vytvořen dynamický funkční model celého systému. To zahrnuje určení chování síťových uzlů s ohledem na vstupní a výstupní proměnné a zprávy, které mají být přijaty/odeslány po sběrnici. Velmi vhodné je využít model řízený událostmi s procesním popisem chování, např. model popisuje, jak se má zachovat po obdržení zprávy (Event) – jak má být naloženo s daty a jaký bude výstup v podobě řídicí proměnné. V neposlední řadě je nezbytné specifikovat vstupní proměnné pro simulační nástroj, aby časový průběh jednotlivých síťových uzlů a zpracování zpráv odpovídalo dané simulaci. Výsledky simulace slouží k ověření tohoto návrhu a později mohou být použity jako referenční po provedení implementace.[13]



**Obrázek 30** Fáze 1: Simulovaný systém (převzato z [11])

### *Fáze 2: Částečná realizace – implementace reálných komponent se simulací zbytku sběrnice*

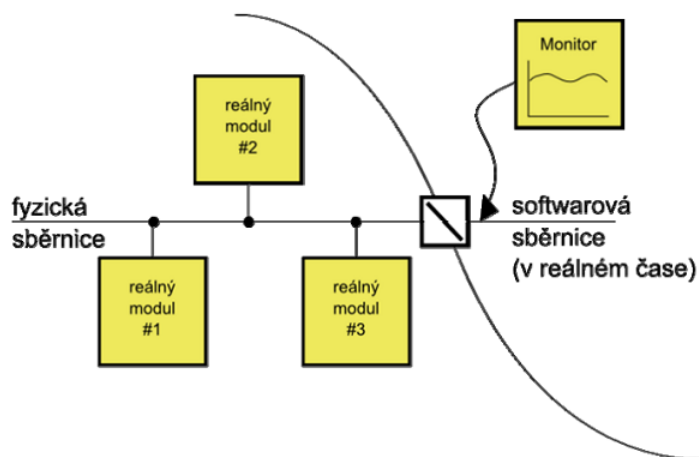
Poté, co byla dokončena první fáze návrhu, se vývoj ubírá nezávisle na jednotlivých komponentách. Každý uzel je konfigurován a tvořen zvlášť bez ohledu na další připojené komponenty. V této části vývoje je potřeba vytvořit rozhraní pro připojení k reálné části sběrnice a navržený systém musí být schopený vykonat simulaci v reálném čase.[11] Tvorba rozhraní v sobě zahrnuje např. analýzu datových zpráv, tvorbu datamatic a v neposlední řadě i definici lokálních a globálních proměnných projektu. Postupné připojování k reálné sběrnici probíhá postupně. Není možné připojit ke sběrnici komponenty, které úspěšně neprošly simulačním procesem. V této části vývoje je velmi výhodné využívat dostupných utilit prostředí CANoe, jako je např. možnost vizualizace dat či sledování stavu jednotek.



**Obrázek 31** Fáze 2: Částečná realizace (převzato z [11])

### *Fáze 3: Integrace celého systému*

V poslední fázi vývoje jsou všechny reálné uzly sítě připojovány jeden po druhém. Zároveň musí existovat i možnost uzly v případě potřeby odpojit, aby se jednalo o reálnou simulaci. Chování uzlů s ohledem na vstupní a výstupní signály je popsáno pomocí proměnných okolí.[20] Prostředí Vector CANoe rozlišuje mezi diskrétními a spojitými proměnnými. Typický příklad diskrétní proměnné může být např. přepínač (poloha zapnuto nebo vypnuto). Spojitou proměnnou můžeme chápat jako měření nějaké veličiny nebo činnosti. Typickým příkladem spojité proměnné u automobilu může být teplota chladicí kapaliny, rozměry otáčky automobilu nebo rychlost otáčení kol [11].



**Obrázek 32** Fáze 3: Integrace celého systému (převzato z [11])

### 3.2 Vector CANoe

Vector CANoe je všestranný nástroj pro vývoj, testování a analýzu datových sítí a ECU, které slouží k podpoře vývojáře v průběhu celého vývojového procesu od začátku do konce. V CANoe je plná podpora práce s datovou sítí v reálném čase, emulace, analýza, záznam datového toku a jeho následné přehrání a v neposlední řadě podpora práce s více sítěmi najednou [16]. Pomocí CANoe je možno simulovat chování na úrovni systému i na úrovni daného modulu.

Analytické funkce CANoe např. zahrnují vícekanálový osciloskop k zobrazení dat proměnných přenášených po sítí. Toto vývojové prostředí slouží buď jako lokální vývojové prostředí pro vývojáře, nebo může být propojeno s několika dalšími prostředími jako je např. Matlab či Statemate.

S příslušným hardwarem umožňuje CANoe práci s následujícími sběrníčovými systémy a síťovými protokoly:

- CAN
- LIN
- MOST
- FlexRay
- J1587
- J1939
- NMEA 2000
- GMLAN [14]

Společnost Vector Informatik umožňuje po dokončení registrace na jejich webových stránkách volné stažení různých doplňkových materiálů, jako jsou např. webináře, prezentace z různých workshopů s automobilkami. Zároveň je zde možnost si stáhnout i demo verzi vývojového prostředí CANoe. Tato demoverze má ovšem omezení týkající se funkcionality a počtu simulovaných jednotek. Zároveň není možno se připojit k reálné CAN Sběrnici. Placená verze systému umožňuje při objednání volbu typu hardware, který budeme použít v počítači.

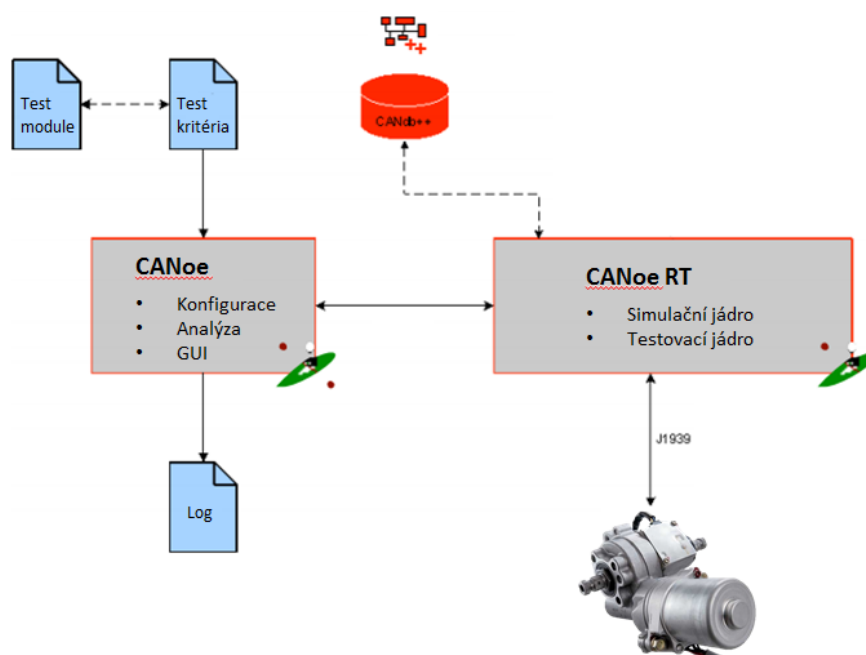


## 4. Emulace CAN komunikace

### 4.1 Systémová analýza návrhu emulátoru

Často je potřeba při vývoji či diagnostice nějakého dílu, aby se díl choval, jako by byl součástí celého systému, a naopak, aby se systém choval tak, jakoby díl obsahoval, i když ho nemáme fyzicky k dispozici. Stačí, abychom dokázali díl popsat z hlediska jeho funkce a jeho komunikace či připojitelnosti ke zbytku systému. Na základě tohoto popisu je poté možno pracovat v prostředí Vector CANoe s tímto objektem, jako by to byl „black box“. Těto funkcionality je využito i při tvorbě simulátoru pro tuto diplomovou práci. Jako konkrétní příklad poslouží použitý posilovač řízení, na kterém byla tato simulace provedena. Samotný posilovač řízení byl vyjmut z vozidla a je tedy nezbytné doplnit simulaci o další prvky tak, aby se výsledná simulace chovala jako část automobilu. Mezi doplněné prvky patří např. signál o zapnutém zapalování, rychlost vozidla atd. Tyto signály slouží jako vstupy pro posilovač řízení. Posilovač tyto vstupy vyhodnotí a na výstupu z něj můžeme sledovat testované hodnoty.

Tato kapitola se zabývá nejen výše uvedeným výčtem funkcionalit, ale zároveň analýzou požadavků systému na simulovaný prvek a samotnou integraci posilovače do virtuálního prostředí automobilu.



**Obrázek 33** Systémová analýza emulátoru

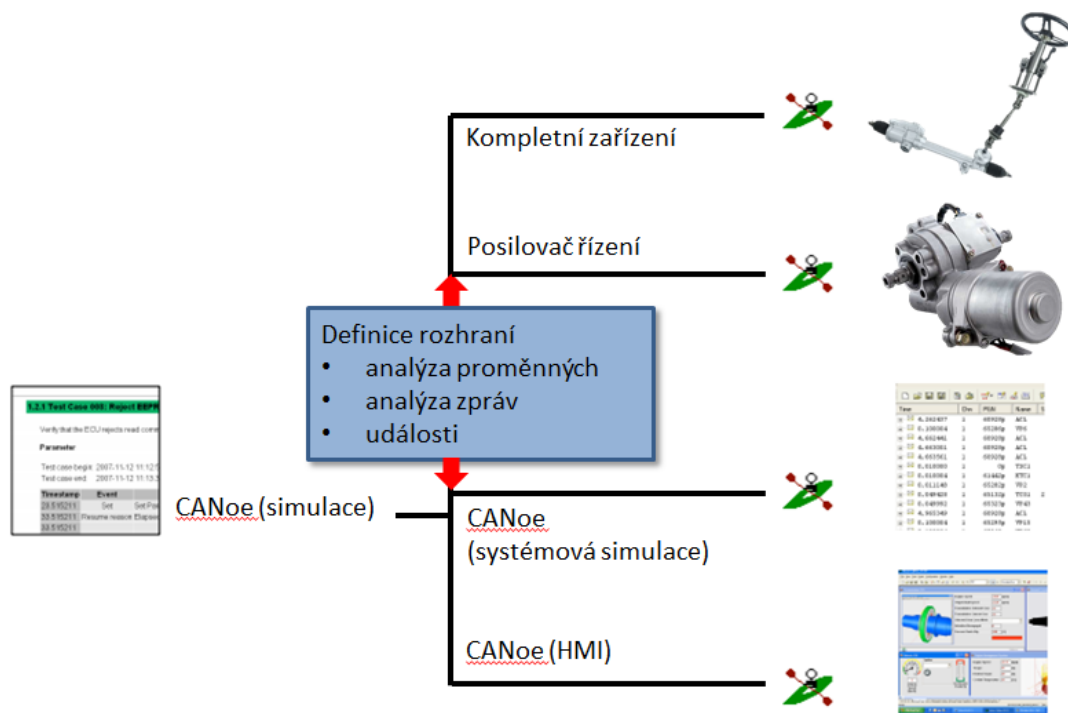
Na obrázku 33 je znázorněna navržená topologie emulačního procesu pro konkrétní posilovač řízení použitý pro tuto diplomovou práci. Této konkrétní topologii odpovídá pouze jeden uzel jako funkční blok a to samotný posilovač.

Z kompletního zařízení umístěného v automobilu byl vyjmut posilovač řízení pro následnou analýzu. Výstup z provedené analýzy vzorku slouží jako podnět k případné repasi či výměně konkrétní dílu posilovače. Velmi důležité je vhodně navrhnout celkovou simulaci tak, aby výsledná emulace zařízení pokryla co nejširší spektrum posilovačů řízení. Toto se v počátcích práce jevilo jako naprostá samozřejmost, ovšem v průběhu tvorby simulace se vyskytly problémy především s komunikací mezi posilovačem a samotným simulačním prostředím (problematika přenosu zpráv). Tato část bude podrobněji vysvětlena v podkapitole zabývající se tvorbou a přenosem CAN zpráv. Na základě výše uvedených požadavků byl stanoven cíl v podobě definice rozhraní mezi samotným posilovačem řízení a emulačním prostředím.

Základním komunikačním prvkem zařízení po CAN sběrnici je zpráva. CAN zpráv se po sběrnici poměrně velké množství a proto bylo jedním ze základních aspektů návrhu i sledování vytížení sběrnice (v procentech). Veškerá data, která je schopen posilovač po sběrnici přenést, resp. přijmout, jsou uložena ve formě datamatic. Tyto datamatice jsou vlastnictvím jednotlivých automobilek, které daný posilovač dodávají do svých vozidel. Vzhledem k tomuto faktu bych rád na tomto místě zdůraznil, že data prezentovaná v této práci byla pouze cvičná. Z důvodu nemožnosti tyto data matice prezentovat bylo nutné vytvořit vlastní datovou strukturu blízkou reálnému stavu zařízení.

Podle obrázku 34 se celý simulační blok dá rozdělit do dvou hlavních skupin. První skupina – CANoe - zajišťuje především vizuální kontakt s uživatelem (HMI), definici chování celého systému na základě změny testovacích kritérií a především velmi užitečnou část v podobě logování celé komunikace posilovače po CAN sběrnici (data zařízením odeslaná, ale i přijatá). Nespornou výhodou logování komunikace je, že výsledný log, uložený nejčastěji v textovém souboru, je možno opětovně vyslat na sběrnici a tímto simulovat pouze konkrétní požadované chování (např. je možno takto zachytit veškerou komunikaci na sběrnici při startu vozidla a tuto následně použít jako test case pro testování chování zařízení při startu vozidla). Druhá skupina – CANoe RT je tvořena jádrem celé simulace a toto je pro uživatele neviditelná část. Jádro simulace je složeno především z fyzické komunikační vrstvy CAN sběrnice, ale zároveň

obsahuje i propojení s data objekty definovaných v data maticích (CANDb++). Více o problematice tvorby databází v CANDb++ je možno nalézt v kapitole 4.5.3.



Obrázek 34 Definice rozhraní emulace

## 4.2 Komunikační rozhraní pro Vector CANoe

Spojení přenosného počítače s posilovačem řízení je realizováno pomocí speciálního hardware dodávaného přímo s vývojovým prostředím. Pro účely diplomové práce bylo využito zařízení CANcaseXL (viz Obrázek 35). Tento kus hardware umožňuje připojení na dvě CAN datové linky. Na jedné straně obsahuje dvě sériová rozhraní RS232 a na straně druhé rozhraní USB, které se připojuje přímo k počítači. Toto řešení je tedy vhodné i pro stolní PC. Toto propojení není jediné možné řešení, dále je možné toto spojení realizovat pomocí hardware karet typu PCMCIA a tyto karty následně zasunout do příslušného slotu notebooku. Funkcionalita obou zmiňovaných řešení je stejná, jedná se pouze o jiné dostupné řešení pro konkrétní typ počítače.

V případě použití rozšiřující karty typu PCMCIA je potřeba speciálního kabelu CANcab (viz Obrázek 35). Při využití CANcaseXL odpadá nutnost použití toho kabelu, ale je nutné si podle přiloženého návodu vytvořit kabel pro RS232 rozhraní, ke kterému se připojuje CAN zařízení.

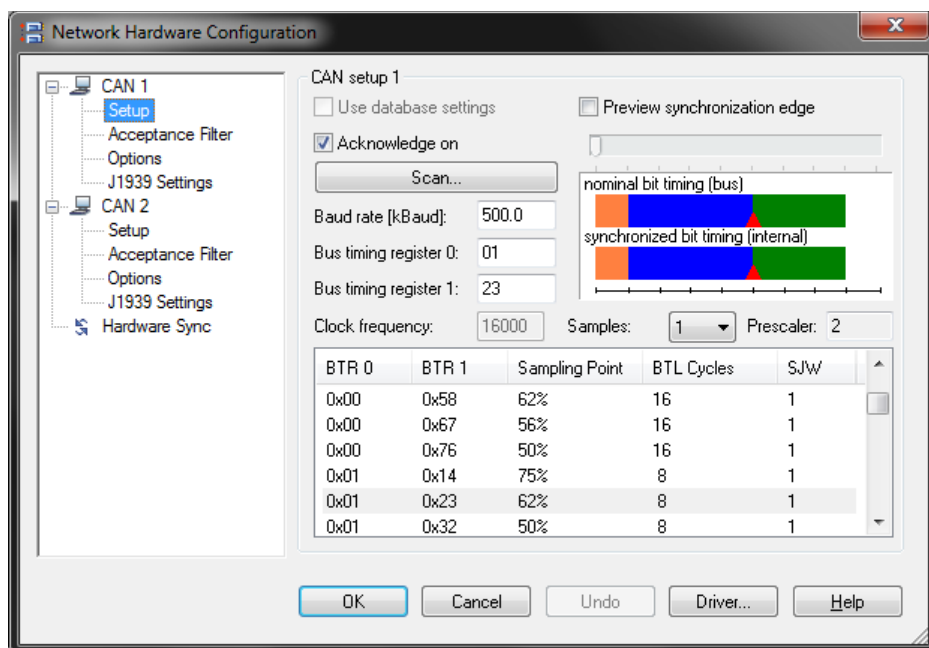


**Obrázek 35** CANcaseXL a CANcab (převzato z [15])

### **4.3 Základní konfigurace prostředí CANoe**

Před každým novým projektem je nezbytné správně nakonfigurovat příslušný hardware pro komunikaci s okolím. Možnosti nastavení podléhají příslušné specifikaci CAN komunikace (např. nastavení časování bitů, synchronizace, potvrzování přijetí informace, baudrate atd.). S těmito základními parametry je dále možno nastavit vlastnosti jednotlivých kanálů rozšiřujících karet. Jak již bylo zmíněno, CANcaseXL obsahuje dva fyzické kanály označené jako CAN1 a CAN2. Tyto jednotlivé kanály mohou jak data vysílat, tak přijímat (status dané komunikace je možno sledovat pomocí LED indikátorů na vrchní straně hardware). Jako velmi efektivní utilitu považují automatické nastavení baudrate připojeného hardware. Pokud neznáme parametry sběrnice zařízení, ke kterému se chceme připojit, stačí stisknout tlačítko autodetekce a prostředí CANoe si samo zjistí příslušný baudrate zařízení a nastaví jej do příslušného textového pole (viz Obrázek 36). Pro účely tvorby simulátoru byl využit baudrate 500kBaud). Pokud využijeme pouze jeden fyzický port hardware, je potřeba tuto informaci nastavit v základním nastavení prostředí (defaultně je nastaveno počet kanálů na hodnotu 2), jinak není možné výsledný program spustit.

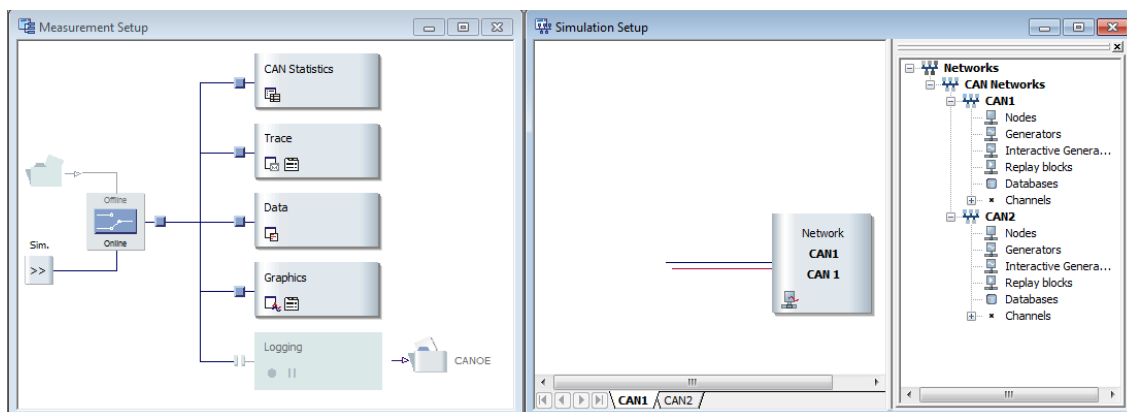
V případě, že je užitečné nějaké přichozí informace filtrovat, je možno využít voleb funkce Acceptance Filter, kde do pole ID se zapíše hodnota „1“. V případě nutnosti zrušení filtru se do pole ID zapíše hodnota „XXX“.



Obrázek 36 Konfigurace prostředí CANoe

#### 4.4 Vývojové bloky prostředí CANoe

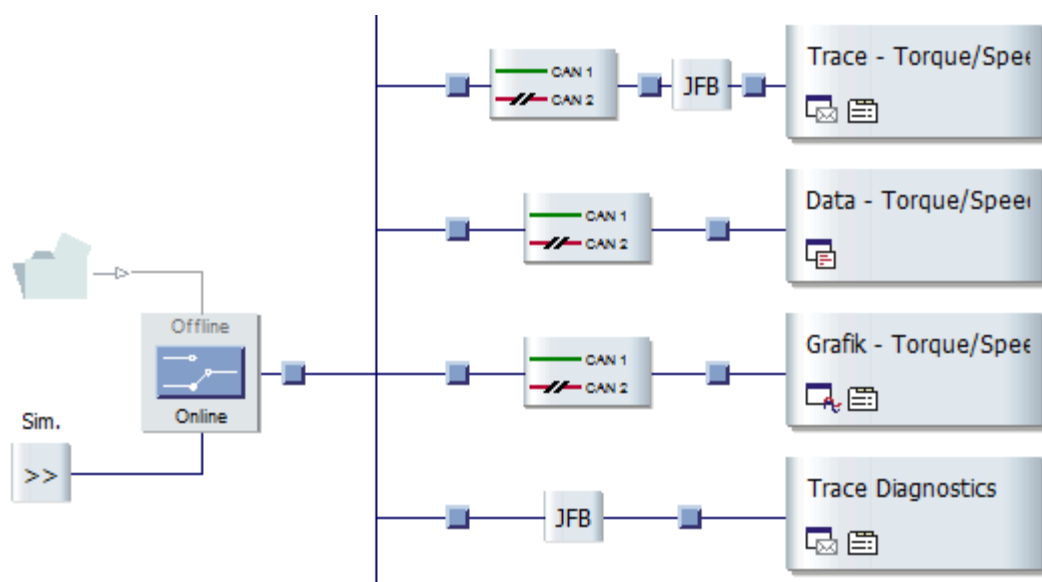
Práce ve vývojovém prostředí Vector CANoe je možno rozdělit do dvou základních oken – simulační okno a okno měření. Simulační pohled na systém znamená grafické znázornění a popis celého systému jako celku. Zde jsou definovány všechny uzly, včetně jejich připojení ke CAN sběrnici a nastavení potřebných parametrů pro přenos. Červeně značená sběrnice reprezentuje simulovanou sběrnici. Reálná sběrnice je zde zastoupena černou barvou. Obě části prostředí je možno vidět na obrázku 37.



Obrázek 37 Vývojové bloky CANoe

#### 4.4.1 Measurement setup

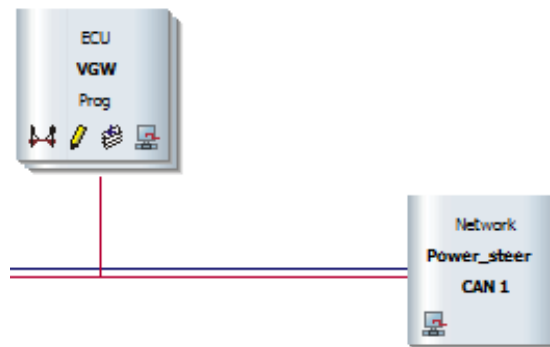
Práci v okně měření je možné pojmut jako návrh elektronického obvodu. Můžeme zde jednotlivé datové linky připojovat/odpojovat, nastavovat jejich propustnost (propustností je zde myšlena možnost povolovat či zakazovat určitý datový tok), nastavovat jejich parametry a v neposlední řadě volit možnost mezi Offline a Online módem. Offline mód je určen pro simulaci celého systému bez fyzického připojení na reálnou CAN sběrnici, tedy pokud si chceme nějakou simulaci pustit jen lokálně na PC. Online mód naproti tomu umožní komunikaci ven z prostředí na CAN sběrnici a pracovat se zařízením v reálném čase. Jednotlivé vložené bloky, jako např. Trace plní interní funkci trasování a vložením tohoto funkčního bloku systému říkáme, že tuto funkci požadujeme a dle nastavených parametrů je systém schopen zobrazit průchod jednotlivých datových zpráv. O datových zprávách více v podkapitole 4.5.



Obrázek 38 Measurement setup

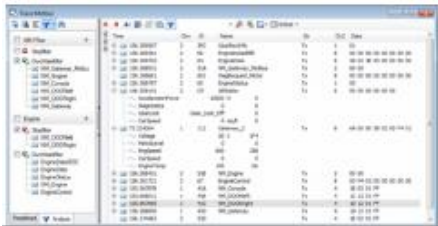
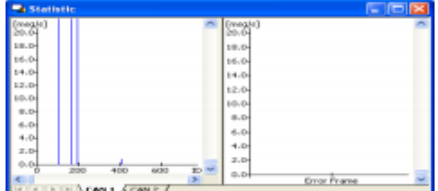
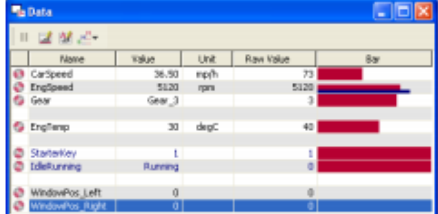
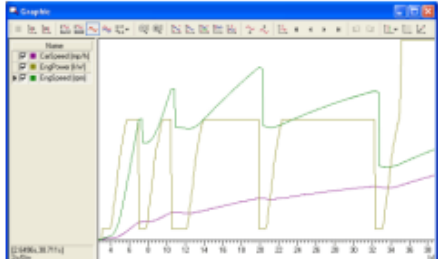

#### 4.4.2 Simulation setup

Jak již bylo naznačeno výše, simulační okno obsahuje grafické znázornění celého systému založeného na CAN sběrnici společně se všemi jeho síťovými uzly. Blokové schéma measurement setup v CANoe obsahuje napojení na simulation setup (znázorněno symbolem >>, viz Obrázek 37) na levé straně a rozličné bloky vyhodnocení na pravé straně slouží jako přijímače dat. Tok dat je tedy zleva doprava. Pro potřeby simulace činnosti posilovače řízení je potřeba přidat jeden simulační blok v podobě ECU posilovače (viz Obrázek 39).



Obrázek 39 Simulation setup

#### 4.4.3 Další vývojové bloky

Název	Element	Popis
Trasování		Umožňuje zobrazení a záznam přenesených datových paketů.
Statistika		Zobrazuje četnost výskytu jednotlivých datových zpráv na sběrnici.
Okno dat		Zobrazí vybrané datové segmenty a jejich přesný obsah.
Vizualizace		Grafická reprezentace odezvy signálů v souřadnicovém systému X-Y. Je zde možnost pomocí kurzoru určit přesnou hodnotu na průsečíku zvolených bodů.
Monitor stavů		Analýza bitových hodnot a stavů jednotlivých částí systému. Vhodné např. pro sledování vstupů/výstupů.

## 4.5 *Matice symbolických dat*

Tato část je základním stavebním kamenem všech systémů založených na CAN sběrnici. Před samotným vysláním dat na sběrnici je potřeba data transformovat do požadovaného formátu dle specifikace CAN přenosu. Každý uzel připojený na CAN sběrnici má definován své vlastní komunikační prostředky (zprávy a signály), které na jedné straně přijímá a na druhé straně vysílá. To znamená, že každý uzel může být řízen jinými uzly, nebo může jiné uzly řídit. Signál si můžeme představit jako elementární příkaz a zprávu jako dávku příkazů, které k sobě logicky patří. Vzhledem k neustálému zvyšování počtu elektronických jednotek v automobilu a tím i nárůstu objemu dat vysílaných na sběrnici, je při nejmenším vhodné si udržovat tyto data v přehledné datové struktuře. Součástí prostředí CANoe je databázový nástroj CANDb++, který umožňuje pohodlnou práci s takovou databází. Každý výrobce, např. automobilka si tuto databázi přísně střeží a nedává ji běžným uživatelům volně k dispozici.

Databázový nástroj CANDb++ nabízí tyto možnosti:

- tvorba databázových souborů,
- přidávání zpráv a signálů do existující databáze,
- definice přenosu a práce se vstupy,
- definice proměnných pro simulaci,
- přidání speciálních zpráv pro testovací účely,
- přidání zpráv pro kalibraci řídicí jednotky [14].

### 4.5.1 CAN zpráva

Zpráva je základním komunikačním prostředkem na sběrnici CAN. Zpráva může v sobě obsahovat několik příkazů (každý příkaz je reprezentován tzv. signálem) a tyto jsou poté vykonány jako dávka v rámci jedné zprávy. Každá řídicí jednotka v automobilu obsahuje většinou stovky či tisíce ovládacích signálů a pro efektivnější komunikaci po sběrnici jsou právě tyto spolu související signály vysílány jako celek ve formě zprávy. CAN zpráva se označí podle jejího obsahu, tzv. adresování podle obsahu. Zpráva tedy obdrží svůj jedinečný identifikátor vysílajícího uzlu, nikoliv adresu. Tím je umožněno vysílání jedné zprávy pro více uzlů současně. Zpráva je doručována všem stanicím na sběrnici a až stanice sama rozhodne, zda je pro ni důležitá



či nikoliv. Pokud není zpráva označena žádným identifikátorem, je interpretována jako "zpráva pro všechny" a hovoří se o tzv. "broadcastu" [9]. Každá CAN zpráva umožňuje přenos 0 až 8 bajtů a musí obsahovat celé bajty. Pomocí signálů můžeme rozdělit tyto datové bajty na části po jednom až 32 bitech. Existuje tedy spousta kombinací, jak zaplnit všech 64 bitů.

*CAN protokol definuje čtyři typy CAN zpráv:*

- **Datová zpráva (Data Frame)** – základní prvek komunikace, zpráva může obsahovat žádný (jednoduché příkazy) až osm datových bajtů.
- **Žádost o data (Remote Frame)** – uzel požádá ostatní uzly na sběrnici o zaslání požadovaných dat. Vyslaná zpráva neobsahuje žádná data.
- **Chybová zpráva (Error Frame)** – tato zpráva je vyslána uzlem, který identifikoval chybu při příjmu.
- **Zpráva o přetížení (Overload Frame)** – zpráva je vyslána příjemcem, který nestačí zpracovávat předcházející zprávy. Vysílání dalších požadovaných zpráv je dočasně pozastaveno. Zpráva má stejný formát jako chybová zpráva.[10]

#### 4.5.2 Analýza relevantních zpráv a přehled funkcí

Pro tvorbu emulace komunikace bylo zapotřebí nejprve analyzovat komunikaci, která probíhá mezi posilovačem řízení a počítačem. Pro analýzu byla použita funkce trasování prostředí CANoe, která je schopna detekovat probíhající komunikaci na sběrnici CAN a vypsát veškeré příchozí a odchozí CAN zprávy včetně signálů v nich obsažených. Jako první položka v okně trasování je čas od startu simulace, kanál, po kterém aktuálně běží komunikace, ID zprávy, směr toku dat (Rx pro čtení ze sběrnice a Tx pro data vyslaná na sběrnici), počet datových bajtů a v poslední radě výpis obsahu takových bajtů. Příklad analyzované komunikace je možné vidět na obrázku 40.

Trace						
Time	Chn	ID	Name	Dir	DLC	Data
0.000000	1		ErrorFrame			
174.996503	1	201		Rx	8	04 04 00 00 08 fc 00 00
174.996753	1	fd		Rx	8	03 00 00 00 00 00 00 00
174.993048	1	240		Rx	8	00 80 80 00 00 00 00 00
174.992798	1	80		Rx	8	ff ff 00 00 00 00 f6 00

Obrázek 40 Okno trasování

Pokud byla do konfigurace přiřazena patřičná databáze zpráv a signálů (tzn., že zprávy a signály putující po CAN sběrnici jsou definovány v importované databázi) je možno vidět místo číselného identifikátoru symbolický název odpovídající položce v databázi. Toto velmi usnadňuje vývoj, ale není to podmínkou. CANoe je schopno pracovat i bez vložené databáze.

CANoe pracuje s daty ve formátu Intel, tzn., že ve slovech je první byte nejméně významný a poslední byte nejvíce významný (little-endian). Pokud je potřeba přenést data ve formátu Motorola (big-endian), musí být překonvertována do správného formátu před samotným přenosem.

Po provedení analýzy bylo zjištěno, že některé potřebné zprávy na sběrnici chybí, neboť byl posilovač vyjmut z vozu. Doplnění dalších zpráv je tedy nezbytné. Pro potřeby konkrétní emulace byla vytipována a zvolena následující relevantní data:

- rychlost vozidla,
- otáčky motoru,
- zařazený rychlostní stupeň,
- poloha plynového pedálu,
- poloha brzdového pedálu,
- indikace zapnutého zapalování,
- posilovací účinek,
- směr točení volantu,
- úhel natočení volantu,
- volantová úhlová rychlost.

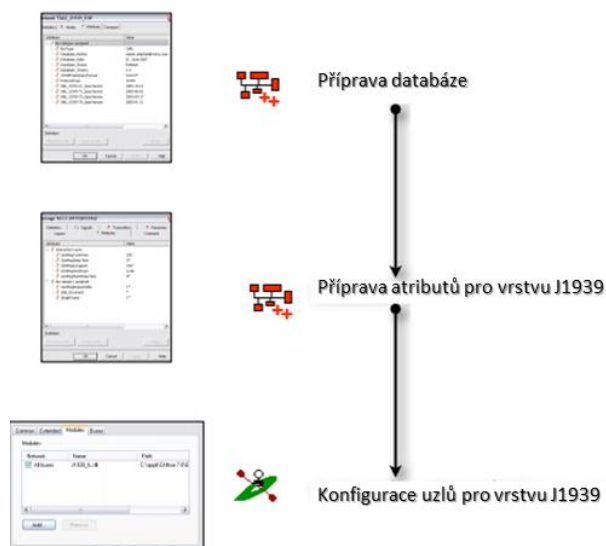
Výčet relevantních dat není kompletní a z důvodu úspory místa zde není uveden detailní rozbor všech použitých zpráv a signálů, neboť to není nezbytně nutné

a v případě potřeby je možnost si jej projít pomocí editoru databází CANdb++, o kterém je možno více zjistit v následující podkapitole 4.5.3. Výběr relevantních dat spočíval především v potřebě zobrazit některé důležité údaje, které nemáme k dispozici, pokud nepracujeme s celým vozidlem. Největší část tvorby diplomové práce spočívala právě v práci s posilovačem, který byl vyjmut z vozidla.

### 4.5.3 Databázový nástroj CANdb++

Po samotné analýze potřebných datových zpráv, je vhodné mít nástroj, pomocí kterého je možno vytvořit a vizualizovat databázovou strukturu zpráv a signálů. Při vytváření struktury je vhodné se držet několik základních kroků. Nejprve definujeme zprávy, poté signály a jako poslední krok zapouzdříme potřebné signály do formátu jedné zprávy. Po vytvoření zprávy je dále možno nastavit, které jednotky slouží jako vysílače či přijímače dané zprávy. Takto vytvořená databáze je uložena ve formátu souboru s příponou **.dbc**. Při práci s databázemi jsem narazil na problém nepřenositelnosti databází mezi jednotlivými produkty Vektor informatik. Tento problém nastal v případě, že byla dostupná pouze databáze pro Vector CANape a tuto databázi jsem nemohl použít pro práci v prostředí Vector CANoe. Zároveň neexistuje žádný konvertor, který by převedl databázi odlišných formátů mezi sebou. To vidím jako zásadní nedostatek a komplikovalo to tvorbu diplomové práce.

Vkládání databázového souboru do projektu je možno pomocí simulačního okna, kde do jednotlivých uzlů CAN sběrnice je možno nahrát do sekce Databases potřebné databázové struktury. Je tedy možné vložit žádnou nebo více databází zpráv, se kterou bude navržený uzel pracovat. Princip práce s výslednou databází spočívá v mapování příchozích a odchozích datových zpráv po sběrnici a tyto následně přiřadit nějaké zprávě z databáze zpráv pomocí ID zprávy. Není tedy nutnost importovat do projektu databázi zpráv. Pokud nevložíme žádnou databázi, musíme se na jednotlivé zprávy odkazovat právě pomocí ID, o kterém ale nejsme schopni zjistit více informací. Proces tvorby databáze až po konfiguraci daného uzlu je znázorněn schematicky na obrázku 41.



Obrázek 41 Proces tvorby databáze

## 4.6 Panel editor

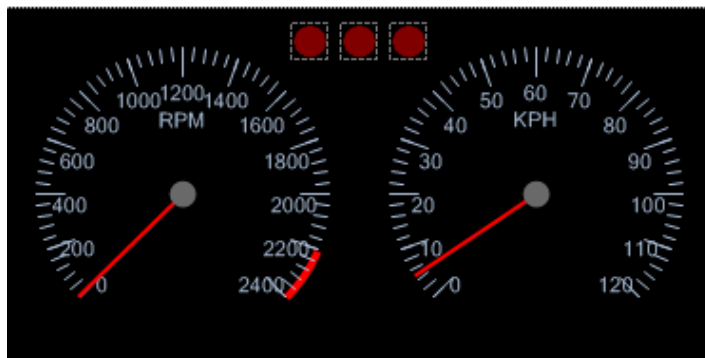
Součástí vývojového balíku CANoe je aplikace Panel editor, pomocí které můžeme vytvářet grafické rozhraní projektu. Pomocí tohoto rozhraní je možné interaktivně ovládat nadefinovanou komunikaci pomocí grafických ovládacích prvků nikoliv pomocí textových příkazů. Ovládání není jedinou funkcí grafického návrhu, je zde možnost vizualizace dat přenášných po sběrnici (např. rychlost vozidla je možno zobrazit pomocí digitálního či analogového zobrazovače atd.). V editoru je možno pomocí bitmapových souborů dále přizpůsobovat grafické rozhraní projektu.

Je potřeba mít na paměti, že veškerá funkcionality vytvořena pomocí Panel editoru neslouží k výměně informací mezi simulovanými uzly sítě. Tento fakt je dán tím, že pomocí proměnných v CANoe není možné sdílet informace mezi simulovaným a reálným modulem. Pokud požadujeme výměnu informací mezi jednotlivými moduly, je toto potřeba řešit pomocí CAN zpráv.

Po definici jednotlivých zpráv a signálů je nyní možno vytvořit jednoduché a intuitivní grafické rozhraní pro ovládání simulátoru. Základem simulátoru je několik grafických oken, pomocí nichž probíhá samotné ovládání. Grafické rozložení prvků je realizováno tak, aby bylo možné ovládat simulaci i bez hlubších znalostí vnitřních vztahů systému.

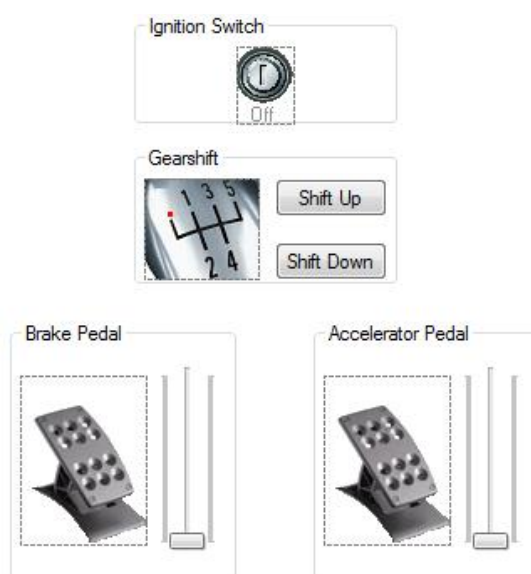
Jako jeden z důležitých emulovaných prvků komunikace byl zvolen analogový ukazatel rychlosti vozidla a otáčkoměr. Tyto grafické prvky byly zvoleny pro co nejbližší simulaci reálného vozidla. Rychlost vozidla je navíc i důležitým prvkem

vstupujícím jako informace do posilovače řízení, na jehož základě se mění posilovací účinek. Pro účely této diplomové práce není potřeba uvažovat ostatní zobrazovací prvky na panelu přístrojů, jako jsou např. různé kontrolky a displeje. Výsledný grafický návrh rychloměru a otáčkoměru je možno vidět na obrázku 42.



**Obrázek 42** Grafický návrh rychloměru a otáčkoměru

Jako další důležitý ovládací prvek byl vytvořen panel pro simulaci plynového a brzdového pedálu, startování motoru a řazení rychlostních stupňů. Plynový pedál je použit k akceleraci vozidla na požadovanou hodnotu pro sledování chování posilovače při požadovaných podmínkách. Indikace, zda motor běží, je velmi důležitou informací pro posilovač řízení, protože dokud řidič nenastartuje motor, je posilovač řízení vyřazen z činnosti a nevyvíjí žádný posilovací účinek. Pokud je potřeba pro některé testovací účely snížit rychlost, byla implementována možnost decelerace vozidla pomocí simulace brzdového pedálu až do úplného zastavení vozidla. Pro lepší využití spektra otáček motoru byla implementována i možnost řadit manuálně jednotlivé rychlostní stupně vozidla. Počet rychlostních stupňů je omezen na 5.



**Obrázek 43** Grafický návrh ovládání vozidla

Poslední z důležitých prvků pro vizualizaci dat slouží vytvořené okno statusu posilovače řízení. Toto okno v sobě zahrnuje následující bloky s možnými hodnotami, které může zobrazovač nabývat:

#### **Steering power**

Steer assist [NM]  
Steer output power assistance [%]  
Steering angle [°]  
Angular velocity [ $\omega$ ]

#### **Car status**

Engine speed [RPM]  
Current speed [km/h]  
Car sleeping [true/false]

#### **Driving status**

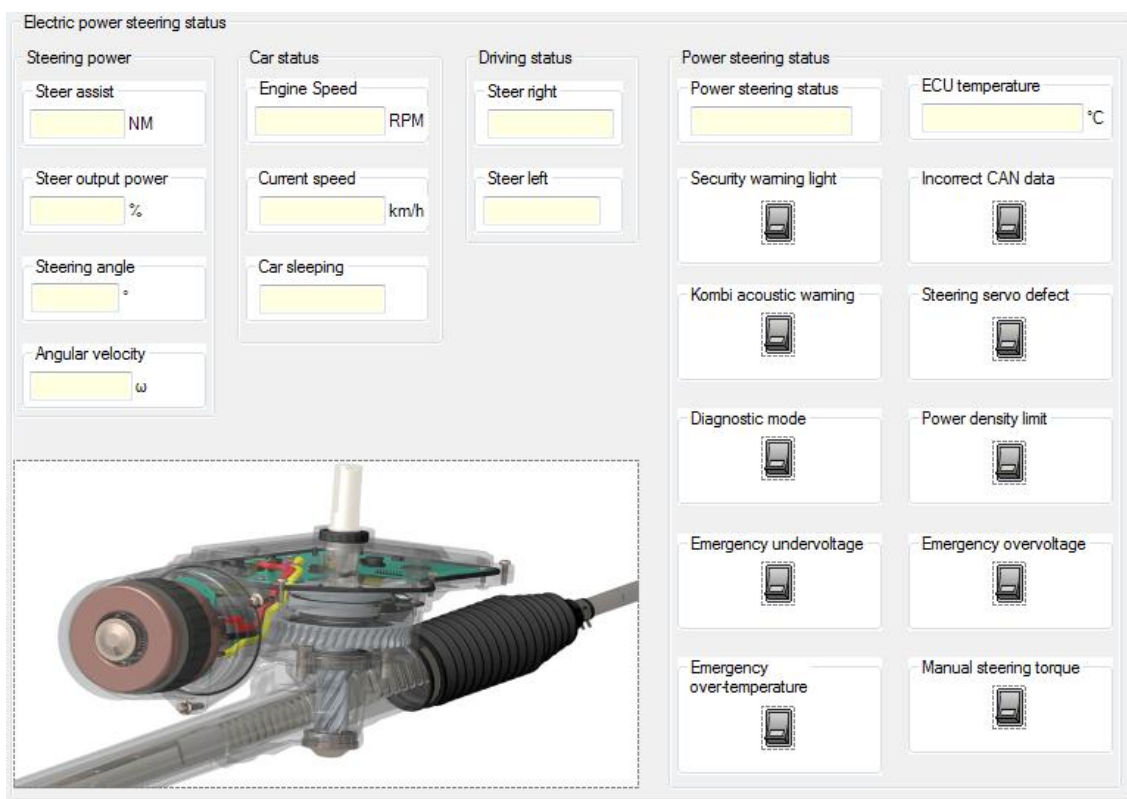
Steer right [true/false]  
Steer left [true/false]

#### **Power steering status**

Power steering status [OK/NOK]  
ECU temperature [°C]  
Security warning light [on/off]  
Kombi acoustic warning [on/off]  
Diagnostic mode [on/off]  
Emergency undervoltage [on/off]  
Emergency overvoltage [on/off]  
Emergency over-temperature [on/off]  
Incorrect CAN data [on/off]  
Steering servo defect [on/off]  
Power density limit [on/off]  
Manual steering torque [on/off]

Jednotlivé bloky byly zvoleny na základě důležitosti. Pro potřeby této diplomové práce nebyla uvažována implementace všech dostupných parametrů z časových důvodů a především v různých závislostech mezi sebou, které se velmi těžko simulují

pomocí CANoe. Na obrázku 44 je možno vidět výsledný přehled dostupné funkcionality.



**Obrázek 44** Grafický návrh okna emulace komunikace

Položky, které v sobě obsahují textové pole, mají za úkol vypisovat jednotlivé hodnoty. Každé textové pole (pokud se k němu váže nějaká veličina) obsahuje za textovým polem svojí jednotku, ve které je daná hodnota dostupná. Pokud je textové pole bez jednotky, jedná se pouze o informativní údaj. Jednotlivé vypínače mají za úkol signalizovat, zda daná událost nastala, či nikoli. Vypínače mají zakázáno uživatelské nastavení stavů a slouží tedy jen jako zobrazovač (vlastnost *Display only* v Panel designeru). Pro přehlednost je zde uveden opět údaj o aktuální rychlosti vozidla a počtu otáček motoru. V průběhu ladění konfigurace pro platformu PQ25 nastal sporadický problém s příjmem CAN zpráv, resp. zobrazením hodnot v nich obsažených. Problém se nepodařilo lokalizovat, a proto občas některá hodnota není zobrazena korektně.

CANoe umožňuje zobrazení několika vytvořených grafických panelů zároveň. Je tedy možné si z vytvořených panelů uspořádat přehlednou testovací konfiguraci, kde není nutné se mezi jednotlivými okny pouze přepínat. Limit pro maximální počet

zobrazitelných oken se nepodařilo zjistit, vždy jsem byl tedy limitován pouze velikostí plochy zobrazovacího zařízení.

#### **4.7 Praktické ověření emulace a další rozšiřitelnost**

Ověření emulace probíhalo pomocí výběru několika posilovačů řízení platformy PQ25. První posilovač řízení byl zcela v pořádku a testované hodnoty byly správně zobrazeny v příslušných polích. Pokud se namísto funkčního posilovače připojil posilovač, který vykazoval chybný režim činnosti, chybné údaje se zobrazily správně jako chybové hodnoty. Během testování vadného posilovače se vyskytla některá úskalí, která nemohla být podchycena vytvořeným simulátorem. Jednalo se především o stavy, které nastaly nechtěným odpojením CAN hardwaru od počítače. V některých případech si s tím simulace poradila, někdy ovšem nikoliv. Jak již bylo nastíněno výše, nebylo možné otestovat jiné platformy PQ, jelikož se zprávy přenášené po CAN sběrnici značně liší – některé chybí úplně a některé jsou platformově specifické – nebyla realizována původní myšlenka univerzálního emulátoru elektrických posilovačů řízení. Ověření funkčnosti proběhlo pomocí funkce trasování i pomocí různých statistických obrazovek CANoe.

Rozšiřitelnost konfigurace je možná právě v rozšíření o další vozové platformy na základě analýzy a definice potřebných dat ze sběrnice CAN. Grafické prostředí tedy může zůstat nezměněno a stačí znovu vytvořit novou datovou strukturu datamatic a přidružit příslušné signály jednotlivých grafickým prvkům. Dále je možnost konfiguraci rozšířit o další dostupné vozové signály. V tomto případě je ale potřeba vyřešit závislosti několika signálů na sobě a případně hodnotu, kterou požadujeme, dopočítat z několika hodnot dostupných. Mezi další velmi zajímavé rozšíření může patřit práce s více posilovači najednou. Vzhledem k tomu, že přidružený hardware podporuje několik fyzických portů pro připojení zařízení, může být další port využit pro připojení dalších zařízení, jako např. dalšího posilovače řízení či jiné komponenty automobilu. V tomto případě již můžeme simulovat předem vytýčenou oblast automobilu.



## Závěr

Tato práce obsahovala několik dílčích cílů, pomocí nichž měl být splněn hlavní cíl v podobě emulace komunikace elektrického posilovače řízení. Prvním důležitým úkolem bylo seznámit se s principy fungování posilovačů řízení, resp. jejich předchůdci v podobě různých mechanických vazeb řízení založených na principu jednoduchých strojů. Nebylo cílem zde podat vyčerpávající výčet vlastností a funkcí, ale uvést do této problematiky i člověka, který nikdy předtím o posilovači řízení neslyšel. Oblast konkrétních typů posilovačů řízení bylo vhodné vysvětlit do větších detailů, protože se na určité konsekvence funkcionalit bylo potřeba odkazovat i při tvorbě konkrétní emulace komunikace. Na závěr první kapitoly byl podán vyčerpávající rozbor elektrických posilovačů řízení EPS Column Drive.

Dalším dílčím cílem bylo prozkoumat a podat informace o sběrnicových systémech vozidla. Problematika CAN sběrnice, resp. CAN protokolu samotného je natolik obsáhlá, že nebylo možné pokrýt veškeré informace týkající se přenosu informace. Informace obsažené v kapitole věnující se sběrnicovým systémům jsou tedy obecnější, zachycující nejdůležitější oblasti komunikace. S tímto tématem je spojena problematika vývoje simulací pomocí vývojového prostředí CANoe užívaného především v automobilovém průmyslu. Samotný vývojový balík je velice obsáhlý a nebylo možné prozkoumat do detailu všechny jeho možnosti využití. Na webových stránkách výrobce je sice možné si stáhnout uživatelský manuál, nicméně popisuje jen funkce a význam jednotlivých dostupných funkcí a chybí zde např. návaznosti mezi funkcemi. Největší prostor je věnován nejzajímavějším a zároveň nejdůležitějším prvkům vývoje, jako je např. simulační okno a okno měření, trasování, logování a tvorba statistik. Důležitou částí vývoje je i vlastní analýza požadavků systému a tvorby datamatice pro konkrétní emulaci. Pro vytvoření konkrétní datamatice bylo potřeba nastudovat problematiku přenosu CAN zpráv na úroveň jednotlivých bytů. Pro tvorbu datamatic byl využit editor databází CANDb++, pomocí něhož byla nadefinována struktura CAN zpráv a signálů. Vzhledem k tomu, že tyto matice nejsou veřejné dokumenty – podstatná část informací je duševním vlastnictvím výrobce – získání a osvojení si podkladů vyplnilo značnou část prostoru pro zpracování práce.

Tvorba emulace komunikace se dotkla i několika problémů, které se vyskytly během vývoje. Původní myšlenka vytvořit univerzální emulační nástroj pro co nejširší spektrum posilovačů řízení se ukázala jako nerealizovatelná a bylo potřeba se zaměřit

na konkrétní vozovou platformu. Pro diplomovou práci byla zvolena vozová platforma PQ25 koncernu VW. Důvody pro volbu této platformy byly především v dostupnosti vozidel pro testování. Vytvořený emulační model se tedy omezuje na funkcionalitu této platformy. Zároveň je zde omezení pouze na komunikaci posilovače řízení, nikoliv ostatních jednotek automobilu, které nejsou pro tuto diplomovou práci relevantní. Vývojové prostředí sloužilo zároveň ke sledování a simulaci sběrnice, nikoli k přístupu přímo do software řídících jednotek. Pokud bychom požadovali se dostat hlouběji do jednotky, je potřeba využít jiných diagnostických nástrojů.

Na simulační model vytvořený v rámci diplomové práce, je možné navázat různými směry. Je možno rozšířit konfiguraci o simulaci dalších řídících jednotek, přidat nové zprávy a signály či např. implementovat zajímavé funkcionality prostředí CANoe jako je např. tvorba test casů atd. Jako další velmi užitečnou návaznost považuji rozšíření stávající platformy PQ25 o další jiné platformy a to nejen z koncernu VW.

## Zdroje

- [1] HELE, D. King. Erasmus Darwin's improved design for steering carriages—and cars. In: Notes and Records of the Royal Society [online]. 2002 [cit. 2013-04-06]. Dostupné z: <<http://rsnr.royalsocietypublishing.org/content/56/1/41.abstract>>.
- [2] Steering: essential to driving. In: The Steering Bible [online]. 2013 [cit. 2013-04-06]. Dostupné z: <[http://www.carbibles.com/steering\\_bible.html](http://www.carbibles.com/steering_bible.html)>.
- [3] How Power Steering Works. In: Autoevolution [online]. 2010 [cit. 2013-04-06]. Dostupné z: <<http://www.autoevolution.com/news/how-power-steering-works-6774.html>>.
- [4] NICE, Karim. How Car Steering Works: Power Steering. In: Howstuffworks [online]. 2011 [cit. 2013-04-06]. Dostupné z: <<http://auto.howstuffworks.com/steering4.htm>>.
- [5] SKEPPSTAM, Pontus. Power steering [DIRAVI]. In: CXsite - Tech, Steering [online]. 1998 [cit. 2013-04-06]. Dostupné z: <<http://hem2.passagen.se/bluestar/techsteer.html>>.
- [6] The role of the steering system. In: ZF Parts | The role of the steering system [online]. 2011 [cit. 2013-04-06]. Dostupné z: <[http://www.zf.com/brands/content/en/zf\\_parts/products\\_zfparts/steering\\_system\\_function\\_zfparts/steering\\_system\\_function\\_ZFParts.html](http://www.zf.com/brands/content/en/zf_parts/products_zfparts/steering_system_function_zfparts/steering_system_function_ZFParts.html)>.
- [7] BURTON, Dr. Anthony W. TRW AUTOMOTIVE. An introduction to electric power steering systems: EPS tuning training manual. USA, 2001. [interní prezentace].
- [8] HUTTON, Jason. TRW AUTOMOTIVE. Nissan GenI EPAS Overview. USA, 2006. [interní prezentace].
- [9] Web-based learning system "Data Processing in Automobiles". In: ::Homepage:: [online]. 2007 [cit. 2013-04-06]. Dostupné z: <<http://lernsystem.original-marken-partner.de/Homepage.399.0.html?&L=1>>.
- [10] BOSCH. *CAN Specification*. Version 2.0. Stuttgart: BOSCH, 1991. Dostupné z: <[www.gaw.ru/data/Interface/CAN\\_BUS.PDF](http://www.gaw.ru/data/Interface/CAN_BUS.PDF)>.
- [11] DUŠEK, Pavel. Simulace kombiinstrumentu automobilu Škoda Superb. Liberec, 2008. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci.
- [12] KLÜSER, Jürgen. *Reasons for System Simulation with CANoe.CANopen*. Stuttgart, 2009. [interní prezentace].

- [13] EMAUS, Bruce. VECTOR INFORMATIK. *Using CANoe for Vehicle Development*. Německo, 2008 [interní prezentace].
- [14] VECTOR INFORMATIK GMBH. CANoe: User Manual [online]. Version 7.5. Stuttgart, 2010 [cit.2012-04-08] Dostupné z:  
<[http://www.vector.com/portal/medien/cmc/manuals/CANoe75\\_Manual\\_EN.pdf](http://www.vector.com/portal/medien/cmc/manuals/CANoe75_Manual_EN.pdf)>.
- [15] VECTOR INFORMATIK GMBH. CANcardXL: The PCMCIA Solution for CAN, LIN and J1708 [online]. 2012, 24.02.2012 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z:  
<[http://www.vector.com/vi\\_cancardxl\\_en.html](http://www.vector.com/vi_cancardxl_en.html)>.
- [16] FAUCOGNEY, Anthony a Stéphane MARTIN. VOLVO 3P. Vector J1939 User Day: Verification, virtual validation with CANoe/Matlab. Stuttgart - Weilimdorf, 2008 [interní prezentace].

## **Přílohy**

### **CD**

Konfigurace CANoe

Výsledky trasování

CD/Emulation

CD/Trace